



**WIRTUALNE  
SYMPOZJUM  
ŚRODOWISKOWE  
PTZE**

**PATRONAT HONOROWY**  
Polska Izba Informatyki  
i Telekomunikacji

**PIIT**

# ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

**PTZE**

Polskie Towarzystwo  
Zastosowań Elektromagnetyzmu



Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki,  
Uniwersytet Rolniczy, Kraków



Centrum Badawczo-Rozwojowe Netrix S.A.



Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji, Lublin



Wydział Elektryczny,  
Politechnika Częstochowska



Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki  
i Automatyki, Politechnika Łódzka





**POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU**

Współorganizatorzy:

POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU

WYDZIAŁ INŻYNIERII PRODUKCJI I ENERGETYKI, UNIWERSYTET ROLNICZY, KRAKÓW

CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE NETRIX S.A.

WYŻSZA SZKOŁA EKONOMII I INNOWACJI, LUBLIN

WYDZIAŁ ELEKTRYCZNY, POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

WYDZIAŁ ELEKTROTECHNIKI, ELEKTRONIKI, INFORMATYKI I AUTOMATYKI, POLITECHNIKA ŁÓDZKA

**WIRTUALNE SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE**

**ZASTOSOWANIA**

**ELEKTROMAGNETYZMU**

**WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE**

**14 – 16 września 2020 r.**

© Copyright by Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu

Warszawa 2020

ISBN 978-83-88131-02-8



**POLSKIE TOWARZYSTWO ZASTOSOWAŃ ELEKTROMAGNETYZMU**

## WIRTUALNE SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE

# ZASTOSOWANIA ELEKTROMAGNETYZMU WE WSPÓŁCZESNEJ INŻYNIERII I MEDYCYNIE

14 – 16 września 2020 r.

### **Komitet naukowy**

#### **Przewodniczący:**

*Mykhaylo Zagirnyak*

#### **Członkowie:**

*Karol Bednarek*

*Paweł Bieńkowski*

*Liliana Byczkowska-Lipińska*

*Katarzyna Ciosk*

*Grzegorz Cieślar*

*Tomasz Dróżdż*

*Barbara Grochowicz*

*Leszek Kasprzyk*

*Jarosław Kieliszek*

*Paweł Kiełbasa*

*Ewa Korzeniewska*

*Anna Koziarowska*

*Andrzej Krawczyk*

*Roman Kubacki*

*Andrzej Wac-Włodarczyk*

*Joanna Wyszowska*

### **Komitet organizacyjny**

#### **Przewodniczący:**

*Tomasz Rymarczyk*

#### **Członkowie:**

*Przemysław Adamkiewicz*

*Łukasz Januskiewicz*

*Ewa Łada-Tondyra*

*Józef Mróz*

*Konrad Niderla*

*Viacheslav Prus*

*Mikołaj Skowron*

*Mariusz Tomczyk*

*Dariusz Wójcik*

## WPROWADZENIE

Pandemia koronawirusa zmieniła życie ludzi, organizacji, państw, całego świata w sposób zupełnie niespotykany. I nie mogła ta zmiana ominąć naszej konferencji. Z radością oczekiwaliśmy na jubileuszowe, trzydzieste spotkanie, najpierw w czerwcu, a potem we wrześniu. Niestety wszystko stało się inaczej. Nieustępujący wirus zmusił nas, organizatorów Sympozjum, do przełożenia jubileuszowego spotkania na przyszły rok, a w tym roku, w dniach planowanego spotkania w Jastarni, zorganizować konferencję w trybie zdalnym, on-line. Nie mamy prawie żadnego doświadczenia w tej materii, a zatem z niepokojem oczekujemy na ostateczny efekt. Bierzemy jednak pod uwagę to, że stanowimy wspólnotę osób zaangażowanych w tworzenie przyjaznej, ale i twórczej, atmosfery naszych konferencji, a zatem uporamy się skutecznie z tą nową sytuacją.

Wirtualne Sympozjum PTZE jak zwykle gromadzi badaczy z różnych obszarów nauki i techniki: inżynierów elektryków, elektroników, mechaników, rolników, lekarzy i biologów, socjologów i przedstawicieli administracji. Proponowane do prezentacji referaty zajmują, zatem duży obszar badawczy, co wyróżnia naszą konferencję z innych konferencji krajowych i zagranicznych. Pewna liczba prac przygotowana jest przez młodszych pracowników nauki i doktorantów, co też jest cechą charakteryzującą nasze sympozja. Szczególnie ważne jest dla osób, które prezentują swoje prace promocyjne, umożliwienie szerokiej i otwartej dyskusji poszczególnych referatów. Mamy nadzieję, że formuła on-line umożliwi taką swobodną dyskusję.

Konferencje PTZE miały zawsze walor turystyczno-poznawczy. Odwiedzaliśmy ciekawe miejsca, zarówno krajobrazowo jak i historycznie. Planowana w tym roku konferencja w Jastarni była też przygotowywana w tym aspekcie. Mieliśmy poznać interesujące miejsca na półwyspie helskim, zaznać mini-podróży morskiej... Zostaliśmy tego pozbawieni. Mamy jednak przekonanie, że przyszłoroczne spotkanie jubileuszowe w Jastarni pozwoli na realizację wszystkich tych planów.

Życzymy Państwu twórczych i owocnych obrad, sprawnych sieci telekomunikacyjnych, zapewniających dobry i niezakłócony odbiór referatów i dyskusji.

*Andrzej Krawczyk, prezes PTZE*  
*Ewa Korzeniewska, wiceprezes PTZE*  
*Mykhaylo Zagirnyak, przewodniczący Komitetu Naukowego*  
*Tomasz Rymarczyk, przewodniczący Komitetu Organizacyjnego*

## PLAN SYMPOZJUM

PONIEDZIAŁEK / MONDAY (14.09.2020)				
SPECJALNA SPECIAL EVENT	OTWARCIE i SESJA PLENARNA OPENING SESSION AND PLENARY SESSION	9:00	<a href="http://shorturl.at/hy178">http://shorturl.at/hy178</a>	Konrad Niderla
SESJA I SESSION I	ELEKTROMAGNETYZM W ENERGETYCE I INŻYNIERII ELEKTRYCZNEJ ELECTROMAGNETISM IN POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING	10:45	<a href="http://shorturl.at/wxEOT">http://shorturl.at/wxEOT</a>	Konrad Niderla
SESJA II SESSION II	(część A/part A) POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W MASZYNACH I URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH (SESJA POSTEROWA) ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRICAL MACHINES AND DEVICES (POSTER SESSION)	12:30	<a href="http://shorturl.at/hwGO2">http://shorturl.at/hwGO2</a>	Konrad Niderla
SESJA II SESSION II	(część B/part B) POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W MASZYNACH I URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH (SESJA POSTEROWA) ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRICAL MACHINES AND DEVICES (POSTER SESSION)	12:30	<a href="http://shorturl.at/rHIOX">http://shorturl.at/rHIOX</a>	Konrad Niderla
WTOREK / TUESDAY (15.09.2020)				
SESJA III SESSION III	ELEKTROMAGNETYZM W BIOINŻYNIERII ELECTROMAGNETISM IN BIOENGINEERING	9:00	<a href="http://shorturl.at/yDKVZ">http://shorturl.at/yDKVZ</a>	Przemysław Adamkiewicz
PRZERWA	Przerwa na kawę / Coffee break	10:30		
SESJA IV SESSION IV	ELEKTROMAGNETYZM W MEDYCYNIE (Zebranie Polskiego Komitetu SEP ds. Zastosowań Pola Elektromagnetycznego w Medycynie ELECTROMAGNETISM IN MEDICINE	10:45	<a href="http://shorturl.at/bpqER">http://shorturl.at/bpqER</a>	Przemysław Adamkiewicz
PRZERWA	Przerwa na kawę / Coffee break	12:15		
SESJA V SESSION V	(część A/part A) POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W BIOMEDYCYNIE I BIOTECHNOLOGII (SESJA POSTEROWA) ELECTROMAGNETIC FIELD IN BIOMEDICINE AND BIOTECHNOLOGY (POSTER SESSION)	12:30	<a href="http://shorturl.at/lmsO6">http://shorturl.at/lmsO6</a>	Przemysław Adamkiewicz
SESJA V SESSION V	(część B/part B) POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W BIOMEDYCYNIE I BIOTECHNOLOGII (SESJA POSTEROWA) ELECTROMAGNETIC FIELD IN BIOMEDICINE AND BIOTECHNOLOGY (POSTER SESSION)	12:30	<a href="http://shorturl.at/fmwy2">http://shorturl.at/fmwy2</a>	Przemysław Adamkiewicz

ŚRODA / WEDNESDAY (16.09.2020)

SESJA VI SESSION VI	POLE ELEKTROMAGNETYCZNE WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD	9:00	<a href="http://shorturl.at/cBEMZ">http://shorturl.at/cBEMZ</a>	Dariusz Wójcik
PRZERWA	Przerwa na kawę / Coffee break	10:30		
SESJA VII SESSION VII	ELEKTROMAGNETYZM OBLICZENIOWY COMPUTATIONAL ELECTROMAGNETICS	10:45	<a href="http://shorturl.at/jrDIP">http://shorturl.at/jrDIP</a>	Dariusz Wójcik
PRZERWA	Przerwa na kawę / Coffee break	12:15		
SESJA VIII SESSION VIII	(część A/part A) POMIARY I TOMOGRAFIA PROCESOWA (SESJA POSTEROWA) MEASUREMENTS AND PROCESS TOMOGRAPHY (POSTER SESSION)	12:30	<a href="http://shorturl.at/rILV7">http://shorturl.at/rILV7</a>	Dariusz Wójcik
SESJA VIII SESSION VIII	(część B/part B) POMIARY I TOMOGRAFIA PROCESOWA (SESJA POSTEROWA) MEASUREMENTS AND PROCESS TOMOGRAPHY (POSTER SESSION)	12:30	<a href="http://shorturl.at/tNO56">http://shorturl.at/tNO56</a>	Dariusz Wójcik
SPECJALNA SPECIAL EVENT	Zakończenie konferencji Closing Cremony	14:00	<a href="http://shorturl.at/bxTY3">http://shorturl.at/bxTY3</a>	Dariusz Wójcik

**PROGRAM WIRTUALNEGO SYMPOZJUM PTZE online  
z wykorzystaniem platformy \_MS\_TEAMSSYMPOZJUM PTZE  
14 – 16 września 2020 r.**

**PROGRAMME OF THE PSAE VIRTUAL SYMPOSIUM online  
using the platform \_MS\_TEAMSSYMPOZJUM PTZE  
14 – 16 September 2020**

**PONIEDZIAŁEK / MONDAY (14.09.2020)**

**OTWARCIE i SESJA PLENARNA / OPENING SESSION AND PLENARY SESSION**

**9:00 – 10:30**

**(Chairmen: Antoni Cieśla, Łukasz Januszkiewicz)**

Link do sesji:

<http://shorturl.at/hy178>

**1. Sebastijan Seme, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović**

Przegląd historyczno-techniczny systemów fotowoltaicznych  
*Historical and technical review of photovoltaic systems*

**2. Ewa Korzeniewska, Andrzej Krawczyk, Jacek Stańdo**

Pola torsyjne – wytwór wyobraźni?  
*Torsion fields – figment of imagination?*

**3. Andrzej Krawczyk, Ewa Korzeniewska**

Kontrowersje wokół skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego na obiekty biologiczne  
w świetle post-normalnej nauki  
*Controversy over the effects of electromagnetic field on biological objects from the post-normal science  
point of view*

**SESJA I**

**10:45 – 12:15**

**ELEKTROMAGNETYZM W ENERGETYCE I INŻYNIERII ELEKTRYCZNEJ**

**ELECTROMAGNETISM IN POWER AND ELECTRICAL ENGINEERING**

**(Chairmen: Mykhaylo Zagirnyak, Tomasz Rymarczyk)**

Link do sesji:

<http://shorturl.at/wxEOT>

**1. Franjo Pranjić, Peter Vrtič**

Opracowanie modeli matematycznych in explicit do projektowania i analizy maszyn synchronicznych  
z magnesami trwałymi o strumieniu osiowym  
*Development of mathematical models in explicit form for design and analysis of axial flux permanent magnet  
synchronous machines*

**2. Primož Mavsar, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović, Sebastijan Seme**

Fizyczny, geograficzny, techniczny i ekonomiczny potencjał dachowych systemów fotowoltaicznych  
*Physical, geographical, technical and economic potential of rooftop photovoltaic systems*



**3. Mykhaylo Zagirnyak, T. Korenkova, V. Kovalchuk**

Procesy energetyczne w kompleksie elektrohydraulicznym z różnymi szybkościami sterowania zaworami odcinającymi i regulacyjnymi

*Energy processes in an electrohydraulic complex with different rates of control of the shut-off and control valves*

**4. Bojan Vovčko, Aleš Štrigelj, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović, Sebastijan Seme**

Analityczne modelowanie hybrydowego termiczno-fotowoltaicznego systemu

*Analytical modelling of hybrid photovoltaic thermal system*

**5. Klemen Sredenšek, Iztok Brinovar, Gregor Srpčič, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović, Sebastijan Seme**

Dynamiczne modelowanie jednowymiarowego wielowęzłowego zasobnika energii

*Dynamic modelling of one-dimensional multi-node energy storage tank*

**6. Muhammad Awais Sattar, Matheus Martinez Garcia, Robert Banasiak, Luis M. Portela, Laurent Babout**

Skalowanie danych z tomografii rezystancyjnej separacji ciecz-gaz w drodze wirowania przy użyciu szybkiego obrazowania

*Scaling of electrical resistance tomography data of swirled liquid-gas separation using fast camera imaging*

**SESJA II (część A/part A)**

12:30 – 14:00

**POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W MASZYNACH I URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH (SESJA POSTEROWA)**

**ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRICAL MACHINES AND DEVICES (POSTER SESSION)**

(Chairmen: Mikołaj Skowron)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/hwGO2>

**1. Janusz Baran, Andrzej Jąderko**

Sterowanie elektrownią wiatrową z estymacją momentu aerodynamicznego przy dużych prędkościach wiatru

*Control system for wind turbine with aerodynamic torque estimation at high wind speed*

**2. Janusz Baran, Andrzej Jąderko**

Sterowanie MPPT elektrownią wiatrową z generatorem PMSG z estymacją momentu efektywnej prędkości wiatru

*Maximum power tracking control of wind energy conversion system with permanent magnet synchronous generator based on torque and effective wind speed estimation*

**3. Rafał Białek**

Stanowiska laboratoryjne do generowania zmiennego pola magnetycznego

*Laboratory stations for generating alternating magnetic field*

**4. Kamila Białek, Jacek Jakubowski**

Zastosowanie graficznego tabletu elektromagnetycznego do analizy odręcznie tworzonej grafiki

*Using of electromagnetic graphic tablet to analysis of handwritten graphics*

**5. Oleksandr Boiko**

Ziarniste nanokompozyty metal-dielektryk alternatywą dla komponentów SMD

*Granular metal-dielectric nanocomposites as an alternative to SMD components*

**6. Paweł Jabłoński, Tomasz Szczegielniak, Dariusz Kusiak**

Analityczno-numeryczna metoda obliczania rozkładu gęstości prądu trójfazowego toru prądowego z szynoprzewodami o przekroju kołowym

*Analytical-numerical method of calculation of current density distribution in three-phase busduct with wires of circular cross-section*

**7. Andriy Chaban, Marek Lis, Radosław Jedynak, Andrzej Szafraniec**

*Wykorzystanie elementów teorii algorytmów genetycznych w analizie rotacyjnej transmisji ruchu z długim sprężystym wałem*

*The use of elements of the theory of genetic algorithms in the analysis of rotational motion transmission with a long elastic shaft*

**8. Andriy Chaban, Zbigniew Łukasik, Marek Lis, Andrzej Szafraniec**

*Modelowanie matematyczne procesów niestabilnych w zawieszeniu magnetycznym pociągu typu MAGLEV*

*Mathematical modelling of transient processes in the magnetic suspension of a Maglev train*

**9. Piotr Chabecki, Dariusz Całus, Fedir Ivashchyshyn, Vitalii Maksymych, Ihor Bordun, Anatolii Borisyuk**

*Właściwości elektryczne klatratu utworzonego na bazie półprzewodnika typu p z układem 2D "gości" wypełnionymi ferroelektrykiem i propolisem*

*Electrical properties of clathrate formed on the basis of a P-TYPE semiconductor with 2D guest positions filled with ferroelectric and propolis*

**10. Paweł A. Mazurek**

*Wymagania kompatybilności elektromagnetycznej stacji ładowania pojazdów elektrycznych*

*Electromagnetic compatibility requirements for electric vehicle charging stations*

**11. Paweł A. Mazurek, Aleksander Chudy**

*Zagadnienia jakości energii stacji ładowania pojazdów elektrycznych*

*Power quality issues of electric vehicle charging stations*

**12. Tomasz Drózdź, Paweł Kielbasa, Piotr Nawara, Anna Miernik**

*Analiza rzeczywistego kształtu impulsu generatora ESD w relacji z wymaganiami normatywnymi*

*Analysis of the real pulse shape of the esd generator in relationship with normative requirements*

**13. Jakub Forsyś, Krzysztof Fudała, Piotr Krawiranda, Andrzej Romanowski**

*Rozwój pojazdów elektrycznych zasilanych energią słoneczną z rozwiązaniami interakcji człowiek-komputer w oparciu o rozszerzoną rzeczywistość*

*Development of solar-powered electric vehicle with human-computer interaction solutions based on augmented reality*

**14. Łukasz Fuśnik, Paweł Zydróń, Bartłomiej Szafraniak**

*Analiza wpływu przetwornika A/C na pomiar sygnałów stosowanych do wyznaczania funkcji przejścia uzwojeń transformatorów energetycznych*

*Analysis of the influence of the A/D converter parameters on the evaluated transfer function of transformer windings*

**15. Marek Gała, Andrzej Jąderko**

*Monitorowanie energii elektrycznej oraz jej parametrów jakościowych w układach zasilania infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych*

*Monitoring of electricity and its quality parameters in the power supply systems of the electric vehicle charging infrastructure*

**16. Marek Gała, Antoni Sawicki, Kazimierz Jagieła**

*Wpływ zaburzeń w obwodzie pieca z łukiem elektrycznym na sieć zasilającą*

*Impact of disturbances in the electric arc furnace circuit on the power supply network*

**17. Marek Gała, Rafał Wyczółkowski**

*Systemy zasilania, magazynowania i inteligentnego użytkowania energii elektrycznej w budynkach zeroenergetycznych*

*Power supply, storage and intelligent use of electricity systems in zero-energy buildings*

## SESJA II (część B/part B)

12:30 – 14:00

### POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W MASZYNACH I URZĄDZENIACH ELEKTRYCZNYCH (SESJA POSTEROWA)

### ELECTROMAGNETIC FIELD IN ELECTRICAL MACHINES AND DEVICES (POSTER SESSION)

(Chairman: Tomasz Drózdź)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/rHIOX>

**1. Patryk Gałuszkiewicz, Zbigniew Gałuszkiewicz, Sebastian Dudzik**

Badania Pr prostownika 6T w warunkach zmiennej częstotliwości i wartości napięcia wejściowego  
*Research in a variable frequency conditions and input voltage value of 6T rectifier*

**2. Anna Gawlak**

Ocena efektywności inwestycji w sieciach średniego i niskiego napięcia przy wykorzystaniu metody taksometrycznej  
*Evaluation of investment efficiency in medium and low voltage networks using the taxometric method*

**3. Ryszard Goleman**

Działanie i charakterystyki hybrydowego silnika indukcyjnego z magnetycznym przemiennikiem częstotliwości  
*Performance and characteristics of a hybrid induction motor with magnetic frequency changer*

**4. Krzysztof Grudzień, Agnieszka Leszczyńska, Mateusz Miłak, Zbigniew Chaniecki, Andrzej Romanowski, Dominik Sankowski**

Połączenie ECT i CMOS do jakościowej analizy przepływu ciał stałych  
*Combining ECT and CMOS for qualitative bulk solid flow analysis*

**5. Adam Jakubas**

Nieinwazyjne badanie jednorodności struktury kompozytów miękkich magnetycznie  
*Non-destructive testing of metal-polymer composites using magnetic field inspections*

**6. Adam Jakubas, Krzysztof Chwastek, Artur Cywiński, Adam Gnatowski, Łukasz Suchecki**

Analiza możliwości wytworzenia szczotek trolejbusowych w oparciu o materiały recyklingowe  
*An analysis of possibilities to develop trolleybus brushes from recycled materials*

**7. Adam Jakubas, Ewa Łada-Tondyra, Marcin Makówka, Mateusz Chyra, Radosław Jastrzębski, Łukasz Suchecki**

Koncepcja wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu do produkcji kompozytowych materiałów miękkich magnetycznie  
*The concept of using recycled raw materials for the production of magnetically soft composite materials*

**8. Adam Jakubas, Ewa Łada-Tondyra, Marcin Makówka, Mateusz Chyra, Olga Sochacka, Łukasz Suchecki**

Koncepcja wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu do wykonania kompozytowych materiałów ekranujących pole elektromagnetyczne  
*The concept of using recycling materials to manufacturing electromagnetic shielding composites.*

**9. Beata Jakubiec**

Analiza wpływu parametrów roboczych robota przemysłowego na zużycie energii elektrycznej  
*Analysis of the influence of the industrial robot operating parameters on the energy consumption*

**10. Jacek Jakubowski, Marek Kuchta, Roman Kubacki**

Przetwarzanie odpowiedzi sensora D-DOT w ocenie własności impulsów HPM  
*Signal processing of D-dot output for the assessment of HPM pulses*

**11. Dmytro Kondratenko, Arkadiusz Lewicki, Charles Odeh, Andrzej Jąderko**

Wprowadzenie rozszerzonej składowej zerowej napięcia do algorytmu modulacji sinusoidalnej dla pięciofazowego trójpoziomowego falownika z diodami poziomującymi  
*Augmented zero-sequence voltage injection in SPWM for five-phase, three level neutral-point-clamped inverter*

**12. Joanna Kozieł, Michał Majka, Adam Pałys**

Analiza pracy wybranej instalacji odnawialnych źródeł energii  
*Analysis of the operation of a selected installation of renewable energy sources*

**13. Joanna Kozieł, Joanna Michałowska, Andrzej Wac-Włodarczyk**

Analiza bezpieczeństwa wybranych zabiegów kosmetycznych ze względu na poziomy pól elektromagnetycznych  
*Safety analysis of selected cosmetic procedures in terms of the levels of electromagnetic fields*

**14. Joanna Kozieł, Grzegorz Komarzyniec, Andrzej Wac-Włodarczyk, Ryszard Goleman**

Analiza wpływu farmy wiatrowej na jakość energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej  
*Analysis of the impact of a wind farm on the quality of electricity in the distribution network*

**15. Paweł Kroplewski, Marcin Morawiec, Andrzej Jąderko**

Układ sterowania dwustronnie zasilanym generatorem indukcyjnym z przekształtnikiem prądu w obwodzie wirnika  
*Control system of doubly-fed induction generator supplied by the current source converter*

**16. Marek Kuchta, Jacek Jakubowski, Roman Kubacki**

Uwarunkowania środowiskowych pomiarów sygnałów HPEM, HPM  
*Conditions for environmental measurements of HPEM, HPM signals*

**17. Marek Kurkowski, Monika Weźgowiec, Tomasz Popławski**

Metodyka wyznaczania zużycia energii w audytowanych instalacjach oświetleniowych drogowych  
*Methodology for determining the energy consumption of audited road lighting installations*

**18. Sławomir Kurpaska, Arkadiusz Religa, Michał Kozdęba**

Model i symulacja zmian temperatury w zbiorniku buforowym współpracującym z systemem grzewczym szklarni  
*Model and simulation of temperature changes in the buffer tank cooperating with the greenhouse heating system*

---

**WTOREK / TUESDAY (15.09.2020)**

**SESJA III**

9:00 – 10:30

**ELEKTROMAGNETYZM W BIOINŻYNIERII**

**ELECTROMAGNETISM IN BIOENGINEERING**

(Chairmen: Paweł Jabłoński, Leszek Kasprzyk)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/yDKVZ>

**1. Tomasz Drózdź, Paweł Kiełbasa, Piotr Nawara, Anna Miernik**

Wpływ oddziaływania impulsowego pola elektrycznego na strukturę międzykomórkową substancji biologicznych  
*The influence of pulsed electrical field impact on the intercellular structure of biological substances*

**2. Paweł Kiełbasa, Mirosław Zagórda, Paweł Findura, Maroš Korenko**

Analiza przestrzenna przewodności elektrycznej podglebia w różnych technologiach produkcji  
*Spatial analysis of the electrical conductivity of the subsoil in various production technologies*

**3. Tomasz Jakubowski, Serhiy Syrotyuk, Kateryna Yankovska**

Wykorzystanie promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz jako czynnika ograniczającego straty przechowalnicze bulw ziemniaka  
*The use of microwave radiation with a frequency of 2.45 GHz as a factor reducing the storage losses of potato tubers*

**4. Tadeusz Juliszewski, Anna Miernik, Tomasz Dróżdź, Piotr Nawara, Ernest Popardowski, Karolina Trzyniec, Bartłomiej Wiśniowski**

Wpływ oddziaływania stałego pola elektrycznego na intensywność i strukturę luminescencji wtórnej wybranych produktów z konopi przemysłowej

*Influence of constant electric field impact on the intensity and structure of the secondary luminescence of selected industrial Cannabis products*

**5. Paweł Kiełbasa, Mirosław Zagórda, Tadeusz Juliszewski, Akinniyi Akinsunmade, Sylwia Tomecka, Paweł Pysz**

Ocena możliwości wykorzystania georadaru do określenia siły oporu roboczego narzędzi do rekultywacji podglebia

*Assessment of the possibilities of using the georadar to determine the operating resistance force of tools for remediation of substratum*

**6. Paweł A. Mazurek, Grzegorz Komarzyniec, Henryka D. Stryczewska**

Instalacje reaktorów plazmowych – przegląd rozwiązań układów zasilania w aspekcie wymagań kompatybilności elektromagnetycznej

*Plasma Reactor Installations – Overview of Power Supply Solutions in the Aspect of Electromagnetic Compatibility Requirements*

10:30 – 10:45 – Przerwa na kawę / Coffee break

## SESJA IV

10:45 – 12:15

**ELEKTROMAGNETYZM W MEDYCYNIE (Zebranie Polskiego Komitetu SEP ds. Zastosowań Pola Elektromagnetycznego w Medycynie)**

**ELECTROMAGNETISM IN MEDICINE**

(Chairmen: Liliana Byczkowska-Lipińska, Andrzej Wac-Włodarczyk)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/bpqER>

**1. Grzegorz Cieślak, Aleksander Sieroń, Paweł Sowa**

Wpływ długotrwałej ekspozycji w polu elektrycznym generowanym w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu stałego na reakcje behawioralne u szczurów

*Impact of long-term exposure to electric field generated nearby high voltage direct current transmission lines on behavioral reactions in rats*

**2. Artur Kacprzyk, Gabriela Kanclerz, Urszula Sołdaj, Eugeniusz Rokita, Bartosz Lisowski, Grzegorz Tatoń**

Objawy związane z idiopatyczną nietolerancją środowiskową przypisywaną działaniu pól elektromagnetycznych (IEI-EHS) – badanie kwestionariuszowe

*Symptoms related to idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EHS) – questionnaire study*

**3. Angelika Klimek, Hanna Kletkiewicz, Agnieszka Siejka, Justyna Maliszewska, Joanna Wyszowska, Milena Jankowska, Anna Nowakowska, Maria Stankiewicz, Justyna Rogalska**

Czy organizm może przystosować się do wielokrotnej ekspozycji na pole elektromagnetyczne ekstremalnie niskiej częstotliwości?

*Can the organism adapt to repeated exposure to extremely low-frequency electromagnetic field?*

**4. Joanna Wyszowska, Agnieszka Siejka, Hanna Kletkiewicz, Justyna Maliszewska, Angelika Klimek, Maria Stankiewicz, Marek Wieczorek, Justyna Rogalska**

Stałe czy przejściowe? – nowe spojrzenie na skutki narażenia na pole elektromagnetyczne o skrajnie niskiej częstotliwości (50 Hz)

*Permanent or temporary? – new insight into the effects of exposure to extremely low frequency (50 Hz) electromagnetic field*

**5. Elżbieta Wyszyńska, Józef Mróz, Andrzej Krawczyk, Ewa Korzeniewska**

Terapia elektroceutyczna – fizyka w leczeniu inkontynencji  
*Electroceutical therapy – physics in the incontinence treatment*

**6. Ewa Korzeniewska, Artur Szczęśny, Piotr Lipiński, Tomasz Drózd, Paweł Kielbasa, Anna Miernik**

Prototyp tekstronicznego czujnika wytworzonego w technologii PVD do wykrywania gronkowca złocistego  
*Prototype of textronic sensor for Staphylococcus aureus detecting created with physical vacuum deposition process*

12:15 – 12:30 – Przerwa na kawę / Coffee break

**SESJA V (część A/part A)**

12:30 – 14:00

**POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W BIOMEDYCYNIE I BIOTECHNOLOGII (SESJA POSTEROWA)**

**ELECTROMAGNETIC FIELD IN BIOMEDICINE AND BIOTECHNOLOGY (POSTER SESSION)**

(Chairman: Beata Jakubiec)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/lmsO6>

**1. Witold Sygocki, Ewa Korzeniewska**

Gdzie deponować dane badawcze z zakresu elektromagnetyzmu i bhp...  
*Where to deposit research data in the field of electromagnetism and OSH...*

**2. Leszek Kasprzyk, Damian Burzyński**

Modelowanie pracy akumulatorów elektrochemicznych w pojazdach elektrycznych  
*Electrochemical battery modelling in electric vehicles*

**3. Joanna Michałowska, Krzysztof Przystupa, Piotr Krupski**

Ocena empiryczna narażenia spawacza pracującego metodą MAG na pole elektromagnetyczne  
*Empirical assessment of the MAG welder's exposure to electromagnetic field*

**4. Karol Rudyk, Roman Kubacki, Marek Kuchta**

Pomiary przenikalności elektrycznej w wysokomocowych polach elektromagnetycznych  
*Permittivity measurement in the high power electromagnetic fields conditions*

**5. Tomasz Szabała, Tomasz Rymarczyk, Andres Vejar**

Robotyczny fantom oddechowy z synchronizacją danych pacjenta do tomografii medycznej  
*A robotic respiration phantom with patient data synchronization for medical tomography*

**6. Maciej Oziembłowski, Agnieszka Nawirska-Olszańska, Damian Maksimowski, Magdalena Trenka**

Właściwości fizyczne i reologiczne masy jajowej po oddziaływaniach skoncentrowanego pola mikrofalowego (CMF)  
*Physical and rheological properties of the egg mass after the influence of concentrated microwave field (CMF)*

**7. Liya Minasbekyan, Volodymyr Pohrebennyk, Krzysztof Przystupa, Orest Kochan**

Wpływ napromieniowania elektromagnetycznego zakresu MM na jądra komórkowe w modelu roślinnym  
*Influence of electromagnetic irradiation of MM-range on the cellular nuclei in plant model*

**8. Ernest Popardowski, Paweł Kielbasa**

Analiza struktury widma energii cieplnej generowanej w czasie stymulacji materii organicznej polem elektrycznym  
*Structure analysis of the thermal energy spectrum generated during stimulation of organic matter by an electric field*

**9. Krzysztof Przystupa, Sergei Petrichenko, Anna Yushchishina, Olena Mitryasova, Volodymyr Pohrebennyk, Orest Kochan**

Metoda iskry elektrycznej w procesie uzdatniania wody  
*Electric spark method in water treatment process*

**10. Anna Miernik, Tomasz Jakubowski**

Reakcja cząsteczek skrobi ziemniaczanej na promieniowanie mikrofalowe  
*Reaction of potato starch particulars to microwave radiation*

**11. Maryna Mikhalieva, Lubomyra Odosii, Yuri Shabatura, Hanna Lunkova, Natalia Hots, Krzysztof Przystupa, Vitalii Atamaniuk**

Metoda elektryczna dla cyberfizycznego systemu sterowania obiektami nieelektrycznymi  
*Electrical method for the cyberphysical control system of non-electrical objects*

**12. Bartłomiej Szafraniak, Paweł Zydróż, Łukasz Fuśnik**

Wpływ kontrolowanych impulsów wysokoprądowych na parametry modelowanych równoważnych obwodów ograniczników przepięć niskiego napięcia z tlenków metali  
*Influence of controlled high-current impulses on the parameters of the modelled equivalent circuits of low-voltage metal-oxide surge arresters*

**13. Grzegorz Szewczyk**

Możliwości zastosowania eye trackingu w analizach aktywności wizualnej operatorów maszyn leśnych  
*Possibilities of eye-tracking studies in analyses of visual activity forests machines operators*

**14. Karolina Trzyniec, Dawid Kądzioła**

Wpływ struktury sygnału informacyjnego na stopień zaangażowania mentalnego operatora systemu informatycznego  
*Influence of the information signal structure on the degree of mental involvement of the IT system operator*

**15. Paweł Tylek**

Systemy wizyjne automatu do przedsiewnego przygotowania żołądździ  
*Vision systems of the machine for pre-sowing preparation of acorns*

**16. Agnieszka Wosiak, Liliana Byczkowska-Lipińska, Aleksandra Dura**

Automatyczna selekcja elektrod w procesie klasyfikacji emocji na podstawie sygnałów EEG  
*Automated electrodes selection in classification of emotions based on EEG signals*

**17. Ewa Korzeniewska, Andrzej Krawczyk, Artur Szczęsny, Rafał Zawiaślak, Józef Mróz, Elżbieta Wyszyńska, Sylwia Wiśniewska, Jacek Stańdo**

Rehabilitacja dłoni u pacjentów po udarze  
*Post-stroke hand rehabilitation*

**18. Ilona Gałązka-Czarnecka, Ewa Korzeniewska, Andrzej Czarnecki, Jacek Stańdo**

Modyfikacja zawartości barwników w kiełkach czerwonej koniczyny z wykorzystaniem PEF  
*Modification of pigments content in red clover sprouts with the use of PEF*

**SESJA V (część B/part B)**

12:30 – 14:00

**POLE ELEKTROMAGNETYCZNE W BIOMEDYCYNIE I BIOTECHNOLOGII (SESJA POSTEROWA)**

**ELECTROMAGNETIC FIELD IN BIOMEDICINE AND BIOTECHNOLOGY (POSTER SESSION)**

**(Chairman: Agnieszka Wosiak)**

Link do sesji:

<http://shorturl.at/fmwy2>

**1. Dariusz Wójcik, Michał Oleszek, Michał Woś, Elżbieta Wośko, Tomasz Rymarczyk**

Mapowanie potencjału powierzchni ciała poprzez pomiar sygnałów biologicznych  
*Mapping body surface potential by measuring biological signals*

**2. Dariusz Wójcik, Michał Woś, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Edward Kozłowski, Andres Vejar**

Niezawodność systemu monitorowania krążenia i oddechu  
*Reliability of a cardiorespiratory monitoring system*

**3. Dariusz Wójcik, Michał Woś, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk**

Kompletny system do automatycznej diagnostyki EKG  
*A complete system for an automated ECG diagnosis*

**4. Damian Gzień, Mariusz Najgebauer**

Przegląd modeli strat mocy w rdzeniach magnetycznych pracujących w układach energoelektronicznych  
*Review of power loss models for magnetic cores operating in power electronic systems*

**5. Dariusz Szafrowski, Robert Kaznowski**

Obecne i przyszłe stacje uzupełniania energii w pojazdach mechanicznych, problemy i skutki zastępowania pojazdów spalinowych elektrycznymi  
*Current and future power refilling stations in motor vehicles, problems and effects of replacing combustion vehicles with electric ones*

**6. Dariusz Szafrowski, Juliusz Jakubaszko, Jacek Gumiela**

Badania wpływu składowej magnetycznej pola 50 Hz na wybrane parametry układu oddechowego oraz termoregulacji człowieka  
*Research on the influence of the magnetic component of the 50 Hz field on selected parameters of the respiratory system and human thermoregulation*

**7. Sebastian Dudzik, Anna Podsiedlik, Adam Rapalski**

Stanowisko do prototypowania algorytmów sterowania kołowymi robotami mobilnymi  
*Test stand to design control algorithms for mobile robots*

**8. Kamil Białek, Patryk Wetoszka**

Wpływ pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne na środowisko kolejowe  
*The influence of magnetic fields generated by electric and electronic devices on the railway environment*

**9. Robert Żelazny, Paweł Jabłoński**

Praca prototypowego urządzenia indukcyjnego ogrzewania rozjazdów kolejowych przy różnych częstotliwościach roboczych  
*Operation of the prototype device for induction of railway switches at different working frequencies*

**10. Marek Lis, Krzysztof Szewczyk, Tomasz Walasek**

Lewitacja magnetyczna w przemysłowych systemach transportowych  
*Magnetic levitation in industrial transport systems*

**11. Krzysztof Łuksza, Justas Dilys, Jarosław Guziński, Marcin Morawiec, Andrzej Jąderko, Marek Gała**

Badania porównawcze wybranych obserwatorów stanu do bezczujnikowego sterowania silnikiem PMSM  
*Implementation and tests of selected observer systems for sensorless control of a PMSM*

**12. Michał Majka, Janusz Kozak, Sławomir Kozak**

Eksperymentalna metoda wyznaczenia temperatury taśmy nadprzewodnikowej w stanie rezystywnym  
*Experimental method for determining the temperature of a superconducting tape in a resistive state*

**13. Paweł Findura, Petr Bartoš, Miroslav Pristavka, Oľga Urbanovičá, Anna Miernik, Paweł Kiełbasa**

Ocena rozmieszczenia przestrzennego roślin za pomocą oprogramowania TF POLYM  
*Evaluation of plant spatial placement by TF Polym software*

**14. Tomasz Szczegielniak, Paweł Jabłoński, Dariusz Kusiak**

Uproszczona metoda obliczania temperatury kabla elektroenergetycznego średniego napięcia  
*Simplified method of operating temperature of medium voltage power cable*



**15. Rafał Wyczołkowski, Marek Gała, Vazgen Bagdasaryan**

Model złożonego przepływu ciepła w pakiecie stalowych profili prostokątnych  
*Model of a complex heat flow in a package of steel rectangular profiles*

**16. Anna Zielińska, Andrzej Bień**

Badania elektromobilności: wpływ posiadanych rozwiązań z sektora odnawialnych źródeł energii na rozwój elektromobilności  
*Electromobility research: the impact of using renewable energy solutions on the development of electromobility*

**17. Tomasz Popławski, Marek Kurkowski, Jarosław Mirowski**

Poprawa jakości energii elektrycznej w instalacjach z mieszanymi oprawami oświetleniowymi  
*Improving the quality of electricity in installations with mixed lighting fittings*

**18. Paweł Surdacki, Leszek Jaroszyński, Łukasz Woźniak**

Modelowanie prądu zwarcia w transformatorze nadprzewodnikowym HTS 21 MVA  
*Fault current modelling in the superconducting transformer HTS 21 MVA*

**ŚRODA / WEDNESDAY (16.09.2020)**

**SESJA VI**

09:00 – 10:30

**POLE ELEKTROMAGNETYCZNE WYSOKIEJ CZĘSTOTLIWOŚCI  
HIGH FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD**

(Chairmen: Karol Aniserowicz, Tadeusz Juliszewski)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/cBEMZ>

**1. Paweł Bieńkowski, Przemysław Sobkiewicz**

Informacja i energia w telekomunikacji  
*Information and energy in telecommunications*

**2. Łukasz Januskiewicz**

Analiza właściwości ekranujących osłon głowy wykonanych z materiałów przewodzących w zastosowaniu do systemów łączności bezprzewodowej piątej generacji  
*Analysis of shielding properties of head covers made of conductive materials in application to 5G wireless systems*

**3. Jarosław Kieliszek, Joanna Wyszowska, Jaromir Sobiech, Robert Pluta**

Pole elektromagnetyczne wytwarzane przez radiotelefony doreczne – potencjalne skutki zdrowotne  
*Electromagnetic field generated by handheld radio – potential health effects*

**4. Paweł Czaja, Wojciech Pluta**

Wpływ konstrukcji wyłącznika różnicowoprądowego na czas jego wyzwolenia  
*Influence of the RCD design on its tripping time*

**5. Karol Aniserowicz**

Znaczenie spełnienia warunku quasi-stacjonarności w badaniach wielkości impulsowych  
*Importance of meeting quasi-stationary condition in studies of impulse quantities*

**6. Grzegorz Tatoń, Artur Kacprzyk, Tomasz Rok, Anna Wasik, Bartosz Lisowski, Dominika Dudek, Eugeniusz Rokita**

Badanie wpływu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 2.1 GHz na zdolności psychomotoryczne  
*Studies of the 2.1 GHz electromagnetic field impact on the psychomotor skills.*

10:30 – 10:45 – Przerwa na kawę / Coffee break

## SESJA VII

10:45 – 12:15

### ELEKTROMAGNETYZM OBLICZENIOWY COMPUTATIONAL ELECTROMAGNETICS

(Chairmen: Paweł Bieńkowski, Jarosław Kieliszek)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/jrDIP>

**1. Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk, Dariusz Wójcik, Tomasz Cieplak, Michał Woś, Przemysław Adamkiewicz**

Wpływ ekstrakcji cech na poprawę jakości sieci LSTM w klasyfikacji sygnału EKG

*Effect of features extraction on improving LSTM network quality in ECG signal classification*

**2. Janusz Sowiński**

Wykorzystanie adaptacyjnego, neuronowo-rozmytego systemu wnioskowania z wyborem zmiennych egzogenicznych do prognozowania dobowych obciążeń w systemie elektroenergetycznym

*The use of an adaptive neuro-fuzzy inference system with the selection of exogenous variables for daily load forecast in the power system*

**3. Dariusz Szafrowski, Jacek Gumieła**

Analiza porównawcza cyfrowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego przy pomocy metody różnicowej z centralnymi różnicami drugiego oraz czwartego rzędu

*Comparative analysis of digital identification of electric field strength using the differential method with central differences of the second and fourth order*

**4. Andrzej Erd, Józef Stokłosa**

Energetyczne uwarunkowania bezpieczeństwa ogniw elektrycznych pojazdów samochodowych

*Energy considerations for the safety of cells in electric motor vehicles*

**5. Sławomir Iskierka, Iwona Iskierka**

Numeryczny model hartowania indukcyjnego osiowo-symetrycznych elementów stalowych z uwzględnieniem różnych rodzajów wymuszenia

*Numerical model of induction hardening of axially-symmetrical steel elements taking into account various types of forcing*

**6. Antoni Cieśla, Mikołaj Skowron**

Wykorzystanie nisko (LTS) i wysoko (HTS) temperaturowych nadprzewodników do separacji magnetycznej. Problemy techniczne i ekonomiczne

*Use of the low (LTS) and high (HTS) temperature superconductors in the magnetic separation. Technical and economical problems*

12:15 – 12:30 – Przerwa na kawę / Coffee break

## SESJA VIII (część A/part A)

12:30 – 14:00

### POMIARY I TOMOGRAFIA PROCESOWA (SESJA POSTEROWA) MEASUREMENTS AND PROCESS TOMOGRAPHY (POSTER SESSION)

(Chairman: Ewa Łada-Tondyra)

Link do sesji:

<http://shorturl.at/rILV7>

**1. Przemysław Adamkiewicz, Piotr Bożek, Michał Styła**

Praktyczne zastosowanie obrazowania radiotomograficznego w systemie nawigacji wewnętrznej

*Practical application of radio tomography imaging in indoor navigation system*

**2. Akinniyi Akinsunmade, Sylwia Tomecka-Suchoń, Paweł Kiełbasa, Tadeusz Juliszewski, Paweł Pysz, Jerzy Karczewski, Mirosław Zagórda**

Wykorzystanie metody georadarowej do wyznaczania oporów roboczych narzędzi głębokiej rekultywacji gleby  
*Usage of the GPR method to determine the working resistance of deep soil remediation tools*

**3. Piotr Bożek, Tomasz Rymarczyk, Michał Oleszek, Przemysław Adamkiewicz**

Tomografia SmartEIT do analizy danych z wykorzystaniem tomografii impedancyjnej  
*SmartEIT tomograph for data analysis using electrical impedance tomography*

**4. Zbigniew Chaniecki**

Analiza niepewności pomiaru ECT na podstawie surowych danych tomograficznych  
*Analysis of ECT measurement uncertainty based on tomographic raw data*

**5. Tomasz Cieplak, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Michał Maj**

Metody eksploracji i przewidywania procesów z wykorzystaniem metod głębokiego uczenia  
*Methods of process mining and prediction using deep learning methods*

**6. Krzysztof Grudzień, Zbigniew Chaniecki, Jacek Nowakowski, Laurent Babout, Andrzej Romanowski, Dominik Sankowski**

Pomiary przepływu cyklonowego z użyciem tomografii pojemnościowej ECT  
*Cyclone flow measurements using ECT capacitance tomography*

**7. Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk, Paweł Tchórzewski**

Neuronowy tomograf hybrydowy do monitorowania reaktorów przemysłowych  
*Neural hybrid tomograph for monitoring industrial reactors*

**8. Dymitr Mamchur, S. Husach, Mykhaylo Zagirnyak**

Analiza niezawodności silników indukcyjnych i metod szacowania żywotności  
*An analysis on induction motor reliability and lifetime estimation methods*

**9. Konrad Niderla, Marcin Maciejewski**

Budowa zoomorficznego robota do rehabilitacji dzieci autystycznych  
*Construction of a zoomorphical robot for rehabilitation of autistic children*

**10. Andrzej Romanowski, Andrzej Grabowski, Krzysztof Grudzień**

Crowdsourcingowe adnotacje obrazów tomograficznych  
*Crowdsourcing annotation of tomography images*

**11. Marcjjan Nowak**

Wpływ momentu zaczepowego silnika BLDC na drgania w układzie elektromechanicznym  
*Effect of cogging torque produced by a BLDC motor on the shaft transverse vibrations*

**12. Wojciech Pluta, Paweł Czaja**

Charakterystyka częstotliwościowa przekładników prądowych małej mocy  
*Frequency characteristics of low power current transformers*

**13. Andrzej Popena**

Tłumienie drgań w elektrycznym układzie napędowym z długim elementem sprężystym  
*Damping of vibrations in the electric drive system with a long elastic coupling*

**14. Przemysław Sobkiewicz, Paweł Bieńkowski, Wojciech Błazejewski**

Defektoskopia mikrofalowa – detekcja delaminacji warstwowych materiałów kompozytowych  
*Microwave defectoscopy – detection of delamination of layered composite materials*

**15. Olga Sochacka**

Stanowisko do badań nieniszczących z zastosowaniem aktywnej termografii w podczerwieni  
*Stand for non – destructive testing using active infrared thermography*

**16. Przemysław Sobkiewicz, Wojciech Błażejowski, Paweł Bieńkowski**

Charakteryzacja parametrów elektrycznych i wytrzymałości mechanicznej warstwowych materiałów kompozytowych

*Characterization of electrical parameters and mechanical strength of layered composite materials*

**17. Mykhaylo Zagirnyak, Viacheslav Prus**

Cechy szczególne obliczania zmian parametrów silników indukcyjnych w układach regulacji częstotliwości z technologicznym sprzężeniem zwrotnym

*Special features of accounting the change in parameters of induction motors in frequency control systems with technological feedback*

**SESJA VIII (część B/part B)**

12:30 – 14:00

**POMIARY I TOMOGRAFIA PROCESOWA (SESJA POSTEROWA)**

**MEASUREMENTS AND PROCESS TOMOGRAPHY (POSTER SESSION)**

**(Chairman: Adam Jakubas)**

Link do sesji:

<http://shorturl.at/tNO56>

**1. Andrzej Romanowski, Krzysztof Grudzień, Zbigniew Chaniecki, Dominik Sankowski**

Pomiary materiałów wybuchowych z użyciem pojemnościowej tomografii elektrycznej

*Measurement of explosive materials using capacitance electrical tomography*

**2. Andrzej Romanowski, Adam Nowak, Mikołaj Woźniak, Aleksandra Koralczyk, Krzysztof Grudzień**

Połączenie tomografii ECT i rzeczywistości rozszerzonej w celu usprawnienia inspekcji przemysłowych

*Combining ECT tomography and augmented reality for improved on-site industrial inspections*

**3. Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Konrad Kania, Mariusz Mazurek**

Tomograficzne czujniki ultradźwiękowe w zastosowaniach przemysłowych

*Tomographic ultrasonic sensors in industrial applications*

**4. Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Polakowski, Jan Sikora**

Analiza składowych głównych danych dla ultradźwiękowej tomografii transmisyjnej

*Principal component analysis of data for ultrasound transmission tomography*

**5. Tomasz Rymarczyk, Paweł Tchórzewski, Edward Kozłowski, Michał Oleszek, Michał Gołąbek, Paweł Rymarczyk**

Rekonstrukcja obrazu z wykorzystaniem regresji logistycznej w tomografii impedancyjnej do analizy wilgotności budynków

*Image reconstruction using logistic regression in electrical impedance tomography for analyzing building moisture*

**6. Tomasz Rymarczyk, Paweł Tchórzewski, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski, Konrad Niderla, Jan Sikora**

Monitorowanie wałów przeciwpowodziowych poprzez rozwiązywanie problemów odwrotnych w tomografii elektrooporowej

*Monitoring of flood embankments by solving inverse problems in electrical resistance tomography*

**7. Tomasz Rymarczyk, Michał Gołąbek, Paweł Rymarczyk, Przemysław Adamkiewicz, Konrad Niderla**

Badanie wpływu materiału zbiornika na pomiary ultradźwiękowe z wykorzystaniem prototypowej karty pomiarowej tomografu ultradźwiękowego

*Examination of the impact of tank material on ultrasonic measurements using a prototype ultrasound tomograph measuring card*

**8. Tomasz Rymarczyk, Jakub Szumowski, Paweł Rymarczyk, Konrad Niderla, Przemysław Adamkiewicz**

Konstrukcja systemu oparta na czujniku z siatki drucianej do analizy przepływu

*System construction based on a wire mesh sensor for flow analysis*

**9. Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Król, Andrzej Zawadzki, Michał Oleszek, Grzegorz Kłosowski**

Inteligentna platforma czujników o otwartej architekturze do monitorowania i kontrolowania systemów cyber-fizycznych

*An intelligent sensor platform with an open architecture for monitoring and controlling cyber-physical systems*

**10. Tomasz Rymarczyk, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Cieplak**

Zastosowanie analizy składowych głównych i elastycznej sieci w regresji logistycznej do identyfikacji lokalizacji obiektów w EIT

*The use of principal component analysis and elastic net in logistic regression to identify the location of objects in the EIT*

**11. Tomasz Rymarczyk, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Cieplak**

Zastosowanie regresji Probit do identyfikacji przesiąków wału

*Probit regression application into seepage identification of embankment*

**12. Tomasz Rymarczyk, Amelia Kosior, Paweł Tchórzewski, Andres Vejar**

Rekonstrukcja obrazu w tomografii impedancyjnej elektrycznej z wykorzystaniem rekonfigurowalnego układu FPGA

*Image reconstruction in electrical impedance tomography using reconfigurable FPGA system*

**13. Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Polakowski, Jan Sikora**

PDE rozwiązane metodą elementów brzegowych w tomografii impedancyjnej

*PDE-solved by boundary element method for electrical impedance tomography*

**14. Tomasz Rymarczyk, Konrad Kania**

Blokowa redukcja transformacji do rekonstrukcji obrazu w tomografii ultrasonograficznej

*Block-wise-transform-reduction for image reconstruction in ultrasound tomography*

**15. Bartosz Przysucha, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Mariusz Mazurek, Przemysław Adamkiewicz**

Wczesne wykrywanie awarii współosiowości wałków sprzęgła za pomocą algorytmu głębokiego uczenia

*Early detection of clutch shaft alignment failure using deep learning algorithm*

**16. Bartosz Przysucha, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Mariusz Mazurek, Przemysław Adamkiewicz**

Poprawa detekcji awarii osiowania wału sprzęgła za pomocą algorytmu LSTM na wczesnym etapie

*Improvements in early failure detection of the clutch shaft alignment using LSTM algorithm*

**17. Jarosław Rolek, Grzegorz Utrata**

Częstotliwościowa charakterystyka indukcyjności maszyny indukcyjnej wyznaczona na podstawie próby obciążenia LCT przeprowadzonej z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS Maxwell

*The inductance frequency characteristic of an induction machine determined based on the load curve test carried out using the ANSYS Maxwell software*

**14:00** – Zakończenie konferencji / Closing Cremony

Link do sesji:

<http://shorturl.at/bxTY3>

## SPIS REFERATÓW

1. Przemysław Adamkiewicz, Piotr Bożek, Michał Styła ..... 37  
*Practical application of radio tomography imaging in indoor navigation system*  
*Praktyczne zastosowanie obrazowania radiotomograficznego w systemie nawigacji wewnętrznej*
2. Akinniyi Akinsunmade, Sylwia Tomecka-Suchoń, Paweł Kiełbasa, Tadeusz Juliszewski,  
Paweł Pysz, Jerzy Karczewski, Mirosław Zagórda ..... 40  
*Usage of the GPR method to determine the working resistance of deep soil remediation tools*  
*Wykorzystanie metody georadarowej do wyznaczania oporów roboczych narzędzi głębokiej  
rekultywacji gleby*
3. Karol Aniserowicz ..... 43  
*Znaczenie spełnienia warunku quasi-stacjonarności w badaniach wielkości impulsowych*  
*Importance of meeting quasi-stationary condition in studies of impulse quantities*
4. Janusz Baran, Andrzej Jąderko ..... 46  
*Sterowanie elektrownią wiatrową z estymacją momentu aerodynamicznego*  
*przy dużych prędkościach wiatru*  
*Control system for wind turbine with aerodynamic torque estimation at high wind speed*
5. Janusz Baran, Andrzej Jąderko ..... 49  
*Sterowanie MPPT elektrownią wiatrową z generatorem PMSG z estymacją momentu*  
*i efektywnej prędkości wiatru*  
*Maximum power tracking control of wind energy conversion system with permanent magnet  
synchronous generator based on torque and effective wind speed estimation*
6. Rafał Białek ..... 53  
*Stanowiska laboratoryjne do generowania zmiennego pola magnetycznego*  
*Laboratory stations for generating alternating magnetic field*
7. Kamila Białek, Jacek Jakubowski ..... 55  
*Zastosowanie graficznego tabletu elektromagnetycznego do analizy odręcznie tworzonej grafiki*  
*Using of electromagnetic graphic tablet to analysis of handwritten graphics*
8. Kamil Białek, Patryk Wetoszka ..... 57  
*Wpływ pól magnetycznych generowanych przez urządzenia elektryczne i elektroniczne*  
*na środowisko kolejowe*  
*The influence of magnetic fields generated by electric and electronic devices on the railway  
environment*

9.	Paweł Bieńkowski, Przemysław Sobkiewicz ..... 59 <i>Informacja i energia w telekomunikacji</i> <i>Information and energy in telecommunications</i>
10.	Oleksandr Boiko ..... 62 <i>Ziarniste nanokompozyty metal-dielektryk alternatywą dla komponentów SMD</i> <i>Granular metal-dielectric nanocomposites as an alternative to SMD components</i>
11.	Borys Borowik ..... 64 <i>Użycie matrycy kształtującej w procesie elektrodynamicznego formowania wsadów rurowych</i> <i>Using a forming die in the electrodynamic process forming of tubular charge</i>
12.	Piotr Bożek, Tomasz Rymarczyk, Michał Oleszek, Przemysław Adamkiewicz ..... 67 <i>SmartEIT tomograph for data analysis using electrical impedance tomography</i> <i>Tomografia SmartEIT do analizy danych z wykorzystaniem tomografii impedancyjnej</i>
13.	Andriy Chaban, Marek Lis, Radosław Jedynak, Andrzej Szafraniec ..... 70 <i>Wykorzystanie elementów teorii algorytmów genetycznych w analizie rotacyjnej transmisji ruchu z długim sprężystym wałem</i> <i>The use of elements of the theory of genetic algorithms in the analysis of rotational motion transmission with a long elastic shaft</i>
14.	Andriy Chaban, Zbigniew Łukasik, Marek Lis, Andrzej Szafraniec ..... 73 <i>Modelowanie matematyczne procesów nieustalonych w zawieszeniu magnetycznym pociągu typu MAGLEV</i> <i>Mathematical modelling of transient processes in the magnetic suspension of a Maglev train</i>
15.	Piotr Chabecki, Dariusz Całus, Fedir Ivashchyn, Vitalii Maksymych, Ihor Bordun, Anatolii Borysyuk ..... 76 <i>Electrical properties of clathrate formed on the basis of a P-TYPE semiconductor with 2D guest positions filled with ferroelectric and propolis</i> <i>Właściwości elektryczne klatratu utworzonego na bazie półprzewodnika typu p z układem 2D "gości" wypełnionymi ferroelektrykiem i propolisem</i>
16.	Zbigniew Chaniecki ..... 79 <i>Analysis of ECT measurement uncertainty based on tomographic raw data</i> <i>Analiza niepewności pomiaru ECT na podstawie surowych danych tomograficznych</i>
17.	Tomasz Cieplak, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Michał Maj ..... 82 <i>Methods of process mining and prediction using deep learning methods</i> <i>Metody eksploracji i przewidywania procesów z wykorzystaniem metod głębokiego uczenia</i>

18.	Antoni Cieśla, Mikołaj Skowron ..... 85 <i>Use of the low (LTS) and high (HTS) temperature superconductors in the magnetic separation. Technical and economical problems</i> <i>Wykorzystanie nisko (LTS) i wysoko (HTS) temperaturowych nadprzewodników do separacji magnetycznej. Problemy techniczne i ekonomiczne</i>
19.	Grzegorz Cieślar, Aleksander Sieroń, Paweł Sowa ..... 88 <i>Wpływ długotrwałej ekspozycji w polu elektrycznym generowanym w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu stałego na reakcje behawioralne u szczurów</i> <i>Impact of long-term exposure to electric field generated nearby high voltage direct current transmission lines on behavioral reactions in rats</i>
20.	Paweł Czaja, Wojciech Pluta ..... 90 <i>Wpływ konstrukcji wyłącznika różnicowoprądowego na czas jego wyzwolenia</i> <i>Influence of the RCD design on its tripping time</i>
21.	Bartosz Dominikowski, Tomasz Gaszyński ..... 93 <i>Automatyczna kontrola stężenia desfluranu w zabiegach operacyjnych przy użyciu technik laparoskopowych</i> <i>Automatic control of desflurane concentration in surgical procedures using laparoscopic techniques</i>
22.	Tomasz Drózdź, Paweł Kiełbasa, Piotr Nawara, Anna Miernik ..... 95 <i>Analiza rzeczywistego kształtu impulsu generatora ESD w relacji z wymaganiami normatywnymi</i> <i>Analysis of the real pulse shape of the ESD generator in relationship with normative requirements</i>
23.	Tomasz Drózdź, Paweł Kiełbasa, Piotr Nawara, Anna Miernik ..... 97 <i>Wpływ oddziaływania pulsacyjnego pola elektrycznego na strukturę międzykomórkową substancji biologicznych</i> <i>The influence of pulsed electrical field impact on the intercellular structure of biological substances</i>
24.	Sebastian Dudzik, Anna Podsiedlik, Adam Rapalski ..... 99 <i>Stanowisko do prototypowania algorytmów sterowania kołowymi robotami mobilnymi</i> <i>Test stand to design control algorithms for mobile robots</i>
25.	Andrzej Erd, Józef Stokłosa ..... 101 <i>Energy considerations for the safety of cells in electric motor vehicles</i> <i>Energetyczne uwarunkowania bezpieczeństwa ogniw elektrycznych pojazdów samochodowych</i>
26.	Paweł Findura, Petr Bartoš, Miroslav Pristavka, Oľga Urbanovičà, Anna Miernik, Paweł Kiełbasa ..... 103 <i>Evaluation of plant spatial placement by TF Polym software</i> <i>Ocena rozmieszczenia przestrzennego roślin za pomocą oprogramowania TF POLYM</i>



27. Jakub Forysiak, Krzysztof Fudała, Piotr Krawiranda, Andrzej Romanowski ..... 106  
*Development of solar-powered electric vehicle with human-computer interaction solutions based on augmented reality*  
*Rozwój pojazdów elektrycznych zasilanych energią słoneczną z rozwiązaniami interakcji człowiek-komputer w oparciu o rozszerzoną rzeczywistość*
28. Łukasz Fuśnik, Paweł Zydroń, Bartłomiej Szafraniak ..... 108  
*Analysis of the influence of the A/D converter parameters on the evaluated transfer function of transformer windings*  
*Analiza wpływu przetwornika A/C na pomiar sygnałów stosowanych do wyznaczania funkcji przejścia uzwojeń transformatorów energetycznych*
29. Marek Gała, Andrzej Jąderko ..... 110  
*Monitorowanie energii elektrycznej oraz jej parametrów jakościowych w układach zasilania infrastruktury ładowania pojazdów elektrycznych*  
*Monitoring of electricity and its quality parameters in the power supply systems of the electric vehicle charging infrastructure*
30. Marek Gała, Antoni Sawicki, Kazimierz Jagieła ..... 113  
*Wpływ zaburzeń w obwodzie pieca z łukiem elektrycznym na sieć zasilającą*  
*Impact of disturbances in the electric arc furnace circuit on the power supply network*
31. Marek Gała, Rafał Wyczółkowski ..... 116  
*Systemy zasilania, magazynowania i inteligentnego użytkowania energii elektrycznej w budynkach zeroenergetycznych*  
*Power supply, storage and intelligent use of electricity systems in zero-energy buildings*
32. Ilona Gałązka-Czarnecka, Ewa Korzeniewska, Andrzej Czarnecki, Jacek Stańdo ..... 119  
*Modyfikacja zawartości barwników w kielkach czerwonej koniczyny z wykorzystaniem PEF*  
*Modification of pigments content in red clover sprouts with the use of PEF*
33. Patryk Gałuszkiewicz, Zbigniew Gałuszkiewicz, Sebastian Dudzik ..... 122  
*Badania prostownika 6T w warunkach zmiennej częstotliwości i wartości napięcia wejściowego*  
*Research in a variable frequency conditions and input voltage value of 6T rectifier*
34. Anna Gawlak ..... 124  
*Ocena efektywności inwestycji w sieciach średniego i niskiego napięcia przy wykorzystaniu metody taksometrycznej*  
*Evaluation of investment efficiency in medium and low voltage networks using the taxometric method*
35. Ryszard Goleman ..... 126  
*Performance and characteristics of a hybrid induction motor with magnetic frequency changer*  
*Działanie i charakterystyki hybrydowego silnika indukcyjnego z magnetycznym przemiennikiem częstotliwości*

36. Krzysztof Grudzień, Zbigniew Chaniecki, Jacek Nowakowski, Laurent Babout, Andrzej Romanowski, Dominik Sankowski ..... 129  
*Pomiary przepływu cyklonowego z użyciem tomografii pojemnościowej ECT*  
*Cyclone flow measurements using ECT capacitance tomography*
37. Krzysztof Grudzień, Agnieszka Leszczyńska, Mateusz Miłak, Zbigniew Chaniecki, Andrzej Romanowski, Dominik Sankowski ..... 132  
*Combining ECT and CMOS for qualitative bulk solid flow analysis*  
*Połączenie ECT i CMOS do jakościowej analizy przepływu ciał stałych*
38. Damian Gzień, Mariusz Najgebauer ..... 134  
*Przegląd modeli strat mocy w rdzeniach magnetycznych pracujących w układach energoelektronicznych*  
*Review of power loss models for magnetic cores operating in power electronic systems*
39. Sławomir Iskierka, Iwona Iskierka ..... 136  
*Numeryczny model hartowania indukcyjnego osiowo-symetrycznych elementów stalowych z uwzględnieniem różnych rodzajów wymuszenia*  
*Numerical model of induction hardening of axially-symmetrical steel elements taking into account various types of forcing*
40. Paweł Jabłoński, Tomasz Szczegielniak, Dariusz Kusiak ..... 138  
*Analityczno-numeryczna metoda obliczania rozkładu gęstości prądu trójfazowego toru prądowego z szynoprzewodami o przekroju kołowym*  
*Analytical-numerical method of calculation of current density distribution in three-phase busduct with wires of circular cross-section*
41. Adam Jakubas ..... 141  
*Nieinwazyjne badanie jednorodności struktury kompozytów miękkich magnetycznie*  
*Non-destructive testing of metal-polymer composites using magnetic field inspections*
42. Adam Jakubas, Krzysztof Chwastek, Artur Cywiński, Adam Gnatowski, Łukasz Suhecki ..... 144  
*Analiza możliwości wytworzenia szczotek trolejbusowych w oparciu o materiały recyklingowe*  
*An analysis of possibilities to develop trolleybus brushes from recycled materials*
43. Adam Jakubas, Ewa Łada-Tondyra, Marcin Makówka, Mateusz Chyra, Radosław Jastrzębski, Łukasz Suhecki ..... 147  
*Koncepcja wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu do produkcji kompozytowych materiałów miękkich magnetycznie*  
*The concept of using recycled raw materials for the production of magnetically soft composite materials*

44. Adam Jakubas, Ewa Łada-Tondyra, Marcin Makówka, Mateusz Chyra, Olga Sochacka, Łukasz Suhecki ..... 149  
*Koncepcja wykorzystania surowców pochodzących z recyklingu do wykonania kompozytowych materiałów ekranujących pole elektromagnetyczne*  
*The concept of using recycling materials to manufacturing electromagnetic shielding composites*
45. Beata Jakubiec ..... 151  
*Analiza wpływu parametrów roboczych robota przemysłowego na zużycie energii elektrycznej*  
*Analysis of the influence of the industrial robot operating parameters on the energy consumption*
46. Jacek Jakubowski, Marek Kuchta, Roman Kubacki ..... 153  
*Przetwarzanie odpowiedzi sensora D-DOT w ocenie własności impulsów HPM*  
*Signal processing of D-dot output for the assessment of HPM pulses*
47. Tomasz Jakubowski, Serhiy Syrotyuk, Kateryna Yankovska ..... 156  
*The use of microwave radiation with a frequency of 2.45 GHz as a factor reducing the storage losses of potato tubers*  
*Wykorzystanie promieniowania mikrofalowego o częstotliwości 2,45 GHz jako czynnika ograniczającego straty przechowalnicze bulw ziemniaka*
48. Łukasz Januszkiewicz ..... 159  
*Analiza właściwości ekranujących osłon głowy wykonanych z materiałów przewodzących w zastosowaniu do systemów łączności bezprzewodowej piątej generacji*  
*Analysis of shielding properties of head covers made of conductive materials in application to 5G wireless systems*
49. Tadeusz Juliszewski, Anna Miernik, Tomasz Drózdź, Piotr Nawara, Ernest Popardowski, Karolina Trzyniec, Bartłomiej Wiśniowski ..... 162  
*Wpływ oddziaływania stałego pola elektrycznego na intensywność i strukturę luminescencji wtórnej wybranych produktów z konopi przemysłowej*  
*Influence of constant electric field impact on the intensity and structure of the secondary luminescence of selected industrial Cannabis products*
50. Artur Kacprzyk, Gabriela Kanclerz, Urszula Soldaj, Eugeniusz Rokita, Bartosz Lisowski, Grzegorz Tatoń ..... 165  
*Objawy związane z idiopatyczną nietolerancją środowiskową przypisywaną działaniu pól elektromagnetycznych (IEI-EHS) – badanie kwestionariuszowe*  
*Symptoms related to idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields (IEI-EHS) – questionnaire study*
51. Leszek Kasprzyk, Damian Burzyński ..... 168  
*Modelowanie pracy akumulatorów elektrochemicznych w pojazdach elektrycznych*  
*Electrochemical battery modelling in electric vehicles*

52. Jarosław Kieliszek, Joanna Wyszowska, Jaromir Sobiech, Robert Puta ..... 171  
*Pole elektromagnetyczne wytwarzane przez radiotelefony doręczne – potencjalne skutki zdrowotne*  
*Electromagnetic field generated by handheld radio – potential health effects*
53. Paweł Kiełbasa, Mirosław Zagórda, Paweł Findura, Maroš Korenko ..... 173  
*Analiza przestrzenna przewodności elektrycznej podglebia w różnych technologiach produkcji*  
*Spatial analysis of the electrical conductivity of the subsoil in various production technologies*
54. Paweł Kiełbasa, Mirosław Zagórda, Tadeusz Juliszewski, Akinniyi Akinsunmade,  
Sylvia Tomecka, Paweł Pysz ..... 176  
*Ocena możliwości wykorzystania georadaru do określenia siły oporu roboczego narzędzi*  
*do rekultywacji podglebia*  
*Assessment of the possibilities of using the georadar to determine the operating resistance force*  
*of tools for remediation of substratum*
55. Angelika Klimek, Hanna Kletkiewicz, Agnieszka Siejka, Justyna Maliszewska,  
Joanna Wyszowska, Milena Jankowska, Anna Nowakowska, Maria Stankiewicz,  
Justyna Rogalska ..... 179  
*Can the organism adapt to repeated exposure to extremely low-frequency*  
*electromagnetic field?*  
*Czy organizm może przystosować się do wielokrotnej ekspozycji*  
*na pole elektromagnetyczne ekstremalnie niskiej częstotliwości?*
56. Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk, Paweł Tchórzewski ..... 181  
*Neural hybrid tomograph for monitoring industrial reactors*  
*Neuronowy tomograf hybrydowy do monitorowania reaktorów przemysłowych*
57. Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk, Dariusz Wójcik, Tomasz Cieplak, Michał Woś,  
Przemysław Adamkiewicz ..... 184  
*Effect of features extraction on improving LSTM network quality in ECG signal classification*  
*Wpływ ekstrakcji cech na poprawę jakości sieci LSTM w klasyfikacji sygnału EKG*
58. Dmytro Kondratenko, Arkadiusz Lewicki, Charles Odeh, Andrzej Jąderko ..... 187  
*Augmented zero-sequence voltage injection in SPWM for five-phase,*  
*three level neutral-point-clamped inverter*  
*Wprowadzenie rozszerzonej składowej zerowej napięcia do algorytmu modulacji sinusoidalnej*  
*dla pięciofazowego trójpoziomowego falownika z diodami poziomującymi*
59. Ewa Korzeniewska, Andrzej Krawczyk, Jacek Stańdo ..... 190  
*Pola torsyjne – wytwór wyobraźni?*  
*Torsion fields – figment of imagination?*
60. Ewa Korzeniewska, Andrzej Krawczyk, Artur Szczęsny, Rafał Zawislak, Józef Mróz,  
Elżbieta Wyszynska, Sylwia Wiśniewska, Jacek Stańdo ..... 193  
*Post-stroke hand rehabilitation*  
*Rehabilitacja dłoni u pacjentów po udarze*
-

61. Ewa Korzeniewska, Artur Szczęsny, Piotr Lipiński, Tomasz Drózd, Paweł Kiełbasa, Anna Miernik ..... 196  
*Prototype of textronic sensor for staphylococcus aureus detecting created with physical vacuum deposition process*  
*Prototyp tekstronicznego czujnika wytworzonego w technologii PVD do wykrywania gronkowca złocistego*
62. Joanna Kozieł, Grzegorz Komarzyniec, Andrzej Wac-Włodarczyk, Ryszard Goleman ..... 198  
*Analiza wpływu farmy wiatrowej na jakość energii elektrycznej w sieci dystrybucyjnej*  
*Analysis of the impact of a wind farm on the quality of electricity in the distribution network*
63. Joanna Kozieł, Michał Majka, Adam Pałys ..... 201  
*Analiza pracy wybranej instalacji odnawialnych źródeł energii*  
*Analysis of the operation of a selected installation of renewable energy sources*
64. Joanna Kozieł, Joanna Michałowska, Andrzej Wac-Włodarczyk ..... 204  
*Analiza bezpieczeństwa wybranych zabiegów kosmetycznych ze względu na poziomy pól elektromagnetycznych*  
*Safety analysis of selected cosmetic procedures in terms of the levels of electromagnetic fields*
65. Andrzej Krawczyk, Ewa Korzeniewska ..... 206  
*Kontrowersje wokół skutków oddziaływania pola elektromagnetycznego na obiekty biologiczne w świetle post-normalnej nauki*  
*Controversy over the effects of electromagnetic field on biological objects from the post-normal science point of view*
66. Paweł Kroplewski, Marcin Morawiec, Andrzej Jąderko ..... 208  
*Control system of doubly-fed induction generator supplied by the current source converter*  
*Układ sterowania dwustronnie zasilanym generatorem indukcyjnym z przekształtnikiem prądu w obwodzie wirnika*
67. Marek Kuchta, Jacek Jakubowski, Roman Kubacki ..... 210  
*Uwarunkowania środowiskowych pomiarów sygnałów HPEM, HPM*  
*Conditions for environmental measurements of HPEM, HPM signals*
68. Marek Kurkowski, Monika Weźgowiec, Tomasz Popławski ..... 213  
*Metodyka wyznaczania zużycia energii w audytowanych instalacjach oświetleniowych drogowych*  
*Methodology for determining the energy consumption of audited road lighting installations*
69. Sławomir Kurpaska, Arkadiusz Religa, Michał Kozdęba ..... 216  
*Model i symulacja zmian temperatury w zbiorniku buforowym współpracującym z systemem grzewczym szklarni*  
*Model and simulation of temperature changes in the buffer tank cooperating with the greenhouse heating system*

70.	Marek Lis, Krzysztof Szewczyk, Tomasz Walasek ..... 218 <i>Lewitacja magnetyczna w przemysłowych systemach transportowych</i> <i>Magnetic levitation in industrial transport systems</i>
71.	Krzysztof Łuksza, Justas Dilys, Jarosław Guziński, Marcin Morawiec, Andrzej Jąderko, Marek Gała ..... 220 <i>Implementation and tests of selected observer systems for sensorless control of a PMSM</i> <i>Badania porównawcze wybranych obserwatorów stanu do bezczujnikowego sterowania</i> <i>silnikiem PMSM</i>
72.	Michał Majka, Janusz Kozak, Sławomir Kozak ..... 222 <i>Eksperymentalna metoda wyznaczania temperatury taśmy nadprzewodnikowej</i> <i>w stanie rezystywnym</i> <i>Experimental method for determining the temperature of a superconducting tape</i> <i>in a resistive state</i>
73.	Dymytro Mamchur, Serhii Husach, Mykhaylo Zagirnyak ..... 224 <i>An analysis on induction motor reliability and lifetime estimation methods</i> <i>Analiza niezawodności silników indukcyjnych i metod szacowania żywotności</i>
74.	Primož Mavsar, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović, Sebastijan Seme ..... 226 <i>Physical, geographical, technical and economic potential of rooftop photovoltaic systems</i> <i>Fizyczny, geograficzny, techniczny i ekonomiczny potencjał dachowych</i> <i>systemów fotowoltaicznych</i>
75.	Paweł A. Mazurek ..... 228 <i>Wymagania kompatybilności elektromagnetycznej stacji ładowania pojazdów elektrycznych</i> <i>Electromagnetic compatibility requirements for electric vehicle charging stations</i>
76.	Paweł A. Mazurek, Aleksander Chudy ..... 230 <i>Zagadnienia jakości energii stacji ładowania pojazdów elektrycznych</i> <i>Power quality issues of electric vehicle charging stations</i>
77.	Paweł A. Mazurek, Grzegorz Komarzyniec, Henryka D. Stryczewska ..... 232 <i>Instalacje reaktorów plazmowych – przegląd rozwiązań układów zasilania</i> <i>w aspekcie wymagań kompatybilności elektromagnetycznej</i> <i>Plasma reactor installations – overview of power supply solutions in the aspect</i> <i>of electromagnetic compatibility requirements</i>
78.	Joanna Michałowska, Krzysztof Przystupa, Piotr Krupski ..... 235 <i>Ocena empiryczna narażenia spawacza pracującego metodą MAG na pole elektromagnetyczne</i> <i>Empirical assessment of the MAG welder's exposure to electromagnetic field</i>

79.	Anna Miernik, Tomasz Jakubowski .....	237
	<i>Reakcja cząsteczek skrobi ziemniaczanej na promieniowanie mikrofalowe</i> <i>Reaction of potato starch particulars to microwave radiation</i>	
80.	Liya Minasbekyan, Volodymyr Pohrebennyk, Krzysztof Przystupa, Orest Kochan .....	240
	<i>Influence of electromagnetic irradiation of MM-range on the cellular nuclei in plant model</i> <i>Wpływ napromieniowania elektromagnetycznego zakresu MM na jądra komórkowe w modelu roślinnym</i>	
81.	Konrad Niderla, Marcin Maciejewski .....	243
	<i>Construction of a zoomorphical robot for rehabilitation of autistic children</i> <i>Budowa zoomorficznego robota do rehabilitacji dzieci autystycznych</i>	
82.	Marcjan Nowak .....	245
	<i>Wpływ momentu zaczepowego silnika BLDC na drgania w układzie elektromechanicznym</i> <i>Effect of cogging torque produced by a BLDC motor on the shaft transverse vibrations</i>	
83.	Maciej Oziembłowski, Agnieszka Nawirska-Olszańska, Damian Maksimowski, Magdalena Trenka .....	247
	<i>Właściwości fizyczne i reologiczne masy jajowej po oddziaływaniach skoncentrowanego pola mikrofalowego (CMF)</i> <i>Physical and rheological properties of the egg mass after the influence of concentrated microwave field (CMF)</i>	
84.	Wojciech Pluta, Paweł Czaja .....	250
	<i>Charakterystyka częstotliwościowa przekładników prądowych małej mocy</i> <i>Frequency characteristics of low power current transformers</i>	
85.	Ernest Popardowski, Paweł Kiełbasa .....	252
	<i>Analiza struktury widma energii cieplnej generowanej w czasie stymulacji materii organicznej polem elektrycznym</i> <i>Structure analysis of the thermal energy spectrum generated during stimulation of organic matter by an electric field</i>	
86.	Andrzej Popenda .....	255
	<i>Tłumienie drgań w elektrycznym układzie napędowym z długim elementem sprężystym</i> <i>Damping of vibrations in the electric drive system with a long elastic coupling</i>	
87.	Tomasz Popławski, Marek Kurkowski, Jarosław Mirowski .....	258
	<i>Poprawa jakości energii elektrycznej w instalacjach z mieszanymi oprawami oświetleniowymi</i> <i>Improving the quality of electricity in installations with mixed lighting fittings</i>	

88.	Franjo Pranjic, Peter Vrtič .....	261
	<i>Development of mathematical models in explicit form for design and analysis of axial flux permanent magnet synchronous machines</i>	
	<i>Opracowanie modeli matematycznych in explicit do projektowania i analizy maszyn synchronicznych z magnesami trwałymi o strumieniu osiowym</i>	
89.	Krzysztof Przystupa, Sergei Petrichenko, Anna Yushchishina, Olena Mitryasova, Volodymyr Pohrebennyk, Orest Kochan .....	264
	<i>Electric spark method in water treatment process</i>	
	<i>Metoda iskry elektrycznej w procesie uzdatniania wody</i>	
90.	Bartosz Przysucha, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Mariusz Mazurek, Przemysław Adamkiewicz .....	266
	<i>Early detection of clutch shaft alignment failure using deep learning algorithm</i>	
	<i>Wczesne wykrywanie awarii współosiowości wałków sprzęgła za pomocą algorytmu głębokiego uczenia</i>	
91.	Bartosz Przysucha, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Mariusz Mazurek, Przemysław Adamkiewicz .....	269
	<i>Improvements in early failure detection of the clutch shaft alignment using LSTM algorithm</i>	
	<i>Poprawa detekcji awarii osiowania wału sprzęgła za pomocą algorytmu LSTM na wczesnym etapie</i>	
92.	Jarosław Rolek, Grzegorz Utrata .....	272
	<i>Częstotliwościowa charakterystyka indukcyjności maszyny indukcyjnej wyznaczona na podstawie próby obciążenia LCT przeprowadzonej z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS Maxwell</i>	
	<i>The inductance frequency characteristic of an induction machine determined based on the load curve test carried out using the ANSYS Maxwell software</i>	
93.	Andrzej Romanowski, Andrzej Grabowski, Krzysztof Grudzień .....	274
	<i>Crowdsourcing annotation of tomography images</i>	
	<i>Crowdsourcingowe adnotacje obrazów tomograficznych</i>	
94.	Andrzej Romanowski, Krzysztof Grudzień, Zbigniew Chaniecki, Dominik Sankowski .....	276
	<i>Pomiary materiałów wybuchowych z użyciem pojemnościowej tomografii elektrycznej</i>	
	<i>Measurement of explosive materials using capacitance electrical tomography</i>	
95.	Andrzej Romanowski, Adam Nowak, Mikołaj Woźniak, Aleksandra Koralczyk, Krzysztof Grudzień .....	278
	<i>Combining ECT tomography and augmented reality for improved on-site industrial inspections</i>	
	<i>Połączenie tomografii ECT i rzeczywistości rozszerzonej w celu usprawnienia inspekcji przemysłowych</i>	
96.	Karol Rudyk, Roman Kubacki, Marek Kuchta .....	280
	<i>Pomiary przenikalności elektrycznej w wysokomocowych polach elektromagnetycznych</i>	
	<i>Permittivity measurement in the high power electromagnetic fields conditions</i>	



97.	Tomasz Rymarczyk, Michał Gołąbek, Paweł Rymarczyk, Przemysław Adamkiewicz, Konrad Niderla .....	282
	<i>Examination of the impact of tank material on ultrasonic measurements using a prototype ultrasound tomograph measuring card</i> <i>Badanie wpływu materiału zbiornika na pomiary ultradźwiękowe z wykorzystaniem prototypowej karty pomiarowej tomografu ultradźwiękowego</i>	
98.	Tomasz Rymarczyk, Konrad Kania .....	285
	<i>Block-wise-transform-reduction for image reconstruction in ultrasound tomography</i> <i>Blokowa redukcja transformacji do rekonstrukcji obrazu w tomografii ultrasonograficznej</i>	
99.	Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Konrad Kania, Mariusz Mazurek .....	288
	<i>Tomographic ultrasonic sensors in industrial applications</i> <i>Tomograficzne czujniki ultradźwiękowe w zastosowaniach przemysłowych</i>	
100.	Tomasz Rymarczyk, Amelia Kosior, Paweł Tchórzewski, Andres Vejar .....	290
	<i>Image reconstruction in electrical impedance tomography using reconfigurable FPGA system</i> <i>Rekonstrukcja obrazu w tomografii impedancyjnej elektrycznej z wykorzystaniem rekonfigurowalnego układu FPGA</i>	
101.	Tomasz Rymarczyk, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Cieplak .....	292
	<i>Probit regression application into seepage identification of embankment</i> <i>Zastosowanie regresji Probit do identyfikacji przesiąków wału</i>	
102.	Tomasz Rymarczyk, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Cieplak .....	295
	<i>The use of principal component analysis and elasticnet in logistic regression to identify the location of objects in the EIT</i> <i>Zastosowanie analizy składowych głównych i elastycznej sieci w regresji logistycznej do identyfikacji lokalizacji obiektów w EIT</i>	
103.	Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Król, Andrzej Zawadzki, Michał Oleszek, Grzegorz Kłosowski .....	298
	<i>An intelligent sensor platform with an open architecture for monitoring and controlling cyber-physical systems</i> <i>Inteligentna platforma czujników o otwartej architekturze do monitorowania i kontrolowania systemów cyber-fizycznych</i>	
104.	Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Polakowski, Jan Sikora .....	300
	<i>PDE-solved by boundary element method for electrical impedance tomography</i> <i>PDE rozwiązane metodą elementów brzegowych w tomografii impedancyjnej</i>	
105.	Tomasz Rymarczyk, Krzysztof Polakowski, Jan Sikora .....	303
	<i>Principal component analysis of data for ultrasound transmission tomography</i> <i>Analiza składowych głównych danych dla ultradźwiękowej tomografii transmisyjnej</i>	

106. Tomasz Rymarczyk, Jakub Szumowski, Paweł Rymarczyk, Konrad Niderla, Przemysław Adamkiewicz ..... 306  
*System construction based on a wire mesh sensor for flow analysis*  
*Konstrukcja systemu oparta na czujniku z siatki drucianej do analizy przepływu*
107. Tomasz Rymarczyk, Paweł Tchórzewski, Edward Kozłowski, Michał Oleszek, Michał Gołąbek, Paweł Rymarczyk ..... 309  
*Image reconstruction using logistic regression in electrical impedance tomography for analyzing building moisture*  
*Rekonstrukcja obrazu z wykorzystaniem regresji logistycznej w tomografii impedancyjnej do analizy wilgotności budynków*
108. Tomasz Rymarczyk, Paweł Tchórzewski, Edward Kozłowski, Grzegorz Kłosowski, Konrad Niderla, Jan Sikora ..... 311  
*Monitoring of flood embankments by solving inverse problems in electrical resistance tomography*  
*Monitorowanie wałów przeciwpowodziowych poprzez rozwiązywanie problemów odwrotnych w tomografii elektrooporowej*
109. Muhammad Awais Sattar, Matheus Martinez Garcia, Robert Banasiak, Luis M. Portela, Laurent Babout ..... 314  
*Scaling of electrical resistance tomography data of swirled liquid-gas separation using fast camera imaging*  
*Skalowanie danych z elektrycznej tomografii rezystancyjnej w trakcie rotacyjnej separacji ciecz-gaz przy użyciu szybkiego obrazowania*
110. Sebastijan Seme, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović ..... 317  
*Historical and technical review of photovoltaic systems*  
*Przegląd historyczno-techniczny systemów fotowoltaicznych*
111. Przemysław Sobkiewicz, Paweł Bieńkowski, Wojciech Błażejowski ..... 320  
*Defektoskopia mikrofalowa – detekcja delaminacji warstwowych materiałów kompozytowych*  
*Microwave defectoscopy – detection of delamination of layered composite materials*
112. Przemysław Sobkiewicz, Wojciech Błażejowski, Paweł Bieńkowski ..... 322  
*Charakteryzacja parametrów elektrycznych i wytrzymałości mechanicznej warstwowych materiałów kompozytowych*  
*Characterization of electrical parameters and mechanical strength of layered composite materials*
113. Olga Sochacka ..... 324  
*Stanowisko do badań nieniszczących z zastosowaniem aktywnej termografii w podczerwieni*  
*Stand for non – destructive testing using active infrared thermography*

114.	Janusz Sowiński .....	326
	<i>Wykorzystanie adaptacyjnego, neuronowo-rozmytego systemu wnioskowania z wyborem zmiennych egzogenicznych do prognozowania dobowych obciążeń w systemie elektroenergetycznym</i>	
	<i>The use of an adaptive neuro-fuzzy inference system with the selection of exogenous variables for daily load forecast in the power system</i>	
115.	Klemen Sredenšek, Iztok Brinovar, Gregor Srpčič, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović, Sebastijan Seme .....	328
	<i>Dynamic modelling of one-dimensional multy-node energy storage tank</i>	
	<i>Dynamiczne modelowanie jednowymiarowego wielowęzłowego zasobnika energii</i>	
116.	Paweł Surdacki, Leszek Jaroszyński, Łukasz Woźniak .....	331
	<i>Modelowanie prądu zwarcia w transformatorze nadprzewodnikowym HTS 21 MVA</i>	
	<i>Fault current modelling in the superconducting transformer HTS 21 MVA</i>	
117.	Witold Sygocki, Ewa Korzeniewska .....	333
	<i>Gdzie deponować dane badawcze z zakresu elektromagnetyzmu i bhp...</i>	
	<i>Where to deposit research data in the field of electromagnetism and OSH...</i>	
118.	Tomasz Szabała, Tomasz Rymarczyk, Andres Vejar .....	336
	<i>A robotic respiration phantom with patient data synchronization for medical tomography</i>	
	<i>Robotyczny fantom oddechowy z synchronizacją danych pacjenta do tomografii medycznej</i>	
119.	Bartłomiej Szafraniak, Paweł Zydroń, Łukasz Fuśnik .....	338
	<i>Influence of controlled high-current impulses on the parameters of the modelled equivalent circuits of low-voltage metal-oxide surge arresters</i>	
	<i>Wpływ kontrolowanych impulsów wysokoprądowych na parametry modelowanych równoważnych obwodów ograniczników przepięć niskiego napięcia z tlenków metali</i>	
120.	Tomasz Szczegielniak, Paweł Jabłoński, Dariusz Kusiak .....	340
	<i>Uproszczona metoda obliczania temperatury kabla elektroenergetycznego średniego napięcia</i>	
	<i>Simplified method of operating temperature of medium voltage power cable</i>	
121.	Grzegorz Szewczyk .....	343
	<i>Możliwości zastosowania eye trackingu w analizach aktywności wizualnej operatorów maszyn leśnych</i>	
	<i>Possibilities of eye-tracking studies in analyses of visual activity forests machines operators</i>	
122.	Dariusz Szafrowski, Jacek Gumieła .....	345
	<i>Analiza porównawcza cyfrowej identyfikacji natężenia pola elektrycznego przy pomocy metody różnicowej z centralnymi różnicami drugiego oraz czwartego rzędu</i>	
	<i>Comparative analysis of digital identification of electric field strength using the differential method with central differences of the second and fourth order</i>	

123. Dariusz Szafrowski, Juliusz Jakubaszko, Jacek Gumiela ..... 347  
*Badania wpływu składowej pola magnetycznego 50 Hz na wybrane parametry układu oddechowego oraz termoregulacji człowieka*  
*Research on the influence of the magnetic component of the 50 Hz field on selected parameters of the respiratory system and human thermoregulation*
124. Dariusz Szafrowski, Robert Kaznowski ..... 351  
*Obecne i przyszłe stacje uzupełniania energii w pojazdach mechanicznych, problemy i skutki zastępowania pojazdów spalinowych elektrycznymi*  
*Current and future power refilling stations in motor vehicles, problems and effects of replacing combustion vehicles with electric ones*
125. Grzegorz Tatoń, Artur Kacprzyk, Tomasz Rok, Anna Wasik, Bartosz Lisowski, Dominika Dudek, Eugeniusz Rokita ..... 354  
*Badanie wpływu pola elektromagnetycznego o częstotliwości 2.1 GHz na zdolności psychomotoryczne*  
*Studies of the 2.1 GHz electromagnetic field impact on the psychomotor skills*
126. Karolina Trzyniec, Dawid Kądzioła ..... 357  
*Wpływ struktury sygnału informacyjnego na stopień zaangażowania mentalnego operatora systemu informatycznego*  
*Influence of the information signal structure on the degree of mental involvement of the it system operator*
127. Paweł Tylek ..... 359  
*Systemy wizyjne automatu do przedsiewnego przygotowania żołądźi*  
*Vision systems of the machine for pre-sowing preparation of acorns*
128. Bojan Vovčko, Aleš Štricelj, Klemen Sredenšek, Bojan Štumberger, Miralem Hadžiselimović, Sebastijan Seme ..... 361  
*Analytical modelling of hybrid photovoltaic thermal system*  
*Analityczne modelowanie hybrydowego termiczno-fotowoltaicznego systemu*
129. Agnieszka Wosiak, Liliana Byczkowska-Lipińska, Aleksandra Dura ..... 364  
*Automatyczna selekcja elektrod w procesie klasyfikacji emocji na podstawie sygnałów EEG*  
*Automated electrodes selection in classification of emotions based on EEG signals*
130. Dariusz Wójcik, Michał Oleszek, Michał Woś, Elżbieta Wośko, Tomasz Rymarczyk ..... 366  
*Mapping body surface potential by measuring biological signals*  
*Mapowanie potencjału powierzchni ciała poprzez pomiar sygnałów biologicznych*
131. Dariusz Wójcik, Michał Woś, Grzegorz Kłosowski, Tomasz Rymarczyk ..... 369  
*A complete system for an automated ECG Diagnosis*  
*Kompletny system do automatycznej diagnostyki EKG*

132. Dariusz Wójcik, Michał Woś, Tomasz Rymarczyk, Grzegorz Kłosowski, Edward Kozłowski, Andres Vejar ..... 371  
*Reliability of a cardiorespiratory monitoring system*  
*Niezawodność systemu monitorowania krążenia i oddechu*
133. Rafał Wyczółkowski, Marek Gała, Vazgen Bagdasaryan ..... 374  
*Model złożonego przepływu ciepła w pakiecie stalowych profili prostokątnych*  
*Model of a complex heat flow in a package of steel rectangular profiles*
134. Joanna Wyszowska, Agnieszka Siejka, Hanna Kletkiewicz, Justyna Maliszewska, Angelika Klimek, Maria Stankiewicz, Marek Wieczorek, Justyna Rogalska ..... 377  
*Permanent or temporary? – new insight into the effects of exposure to extremely low frequency (50 Hz) electromagnetic field*  
*Stałe czy przejściowe? – nowe spojrzenie na skutki narażenia na pole elektromagnetyczne o skrajnie niskiej częstotliwości (50 Hz)*
135. Elżbieta Wyszwińska, Józef Mróz, Andrzej Krawczyk, Ewa Korzeniewska ..... 379  
*Terapia elektroceutyczna – fizyka w leczeniu inkontynencji*  
*Electroceutical therapy – physics in the incontinence treatment*
136. Mykhaylo Zagirnyak, Tetyana Korenkova, Victoriya Kovalchuk ..... 382  
*Energy processes in an electrohydraulic complex with different rates of control of the shut-off and control valves*  
*Procesy energetyczne w kompleksie elektrohydraulicznym z różnymi szybkościami sterowania zaworami odcinającymi i regulacyjnymi*
137. Mykhaylo Zagirnyak, Viacheslav Prus ..... 385  
*Special features of accounting the change in parameters of induction motors in frequency control systems with technological feedback*  
*Cechy szczególne obliczania zmian parametrów silników indukcyjnych w układach regulacji częstotliwości z technologicznym sprzężeniem zwrotnym*
138. Anna Zielińska, Andrzej Bień ..... 388  
*Electromobility research: the impact of using renewable energy solutions on the development of electromobility*  
*Badania elektromobilności: wpływ posiadanych rozwiązań z sektora odnawialnych źródeł energii na rozwój elektromobilności*
139. Robert Żelazny, Paweł Jabłoński ..... 391  
*Praca prototypowego urządzenia indukcyjnego ogrzewania rozjazdów kolejowych przy różnych częstotliwościach roboczych*  
*Operation of the prototype device for induction of railway switches at different working frequencies*

# PRACTICAL APPLICATION OF RADIO TOMOGRAPHY IMAGING IN INDOOR NAVIGATION SYSTEM

Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>1,2</sup>, Piotr BOŹEK<sup>1</sup>, Michał STYŁA

<sup>1</sup> Centrum Badawczo Rozwojowe Technologii Informatycznych sp. z o.o., Rzeszów

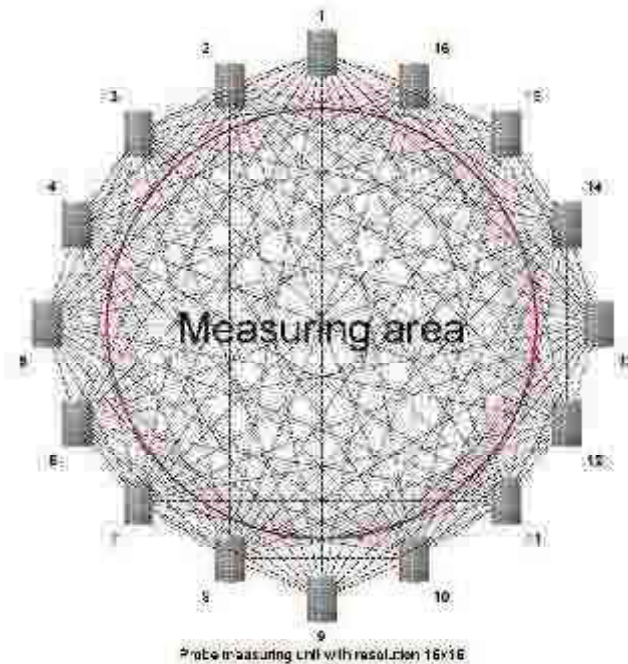
<sup>2</sup> University of Economics and Innovation, Lublin

## Introduction

Tomography is a word that combines two other derived from Greek: cross-section (tomé) and write (gráfein). As a process, it always aims to obtain a cross-section of a given object using a relatively non-invasive medium. In practice, this means that the material integrity of the test-ed object is inviolable. The created tomographic system uses elec-tromagnetic waves with a frequency of 2.4 GHz and a power not exceeding 6.3 mW (+8 dBm) as the transmission medium. The selected fre-quency range works very well in the detection of organic objects due to the high degree of water absorption. The power is enough for the system to cover small and medium-sized rooms. The system can be scaled up using modules with higher power or antennas with higher energy gains.

## The measurement algorithm of the radio tomography

The model showing the algorithm of the radio tomography is shown in Figure 1. The created system can consist of any number of radio measuring probes (sixteen in the tested case), which are able to perform two-dimensional space mapping using the RSSI (*Received Signal Strength Indication*) indicator.



**Fig. 1.** All projection angles and the resulting grid in a 16x16 radio tomography system

The probes alternately connecting with each other and exchanging data create individual projection angles, which at the end of the process are arranged in a measuring grid. Its density is strictly dependent on the number of radio probes used and the way they are arranged relative to each other and the body of

the room. To avoid collisions of data streams at particular projection angles, the software of radio probes has been deprived of decision-making abilities in relation to the measurements made. The burden of control and the obligation to maintain data integrity were thus transferred to the central control unit.

### Hardware layer

The smallest cell building the created system is the tomographic radio probe shown in Figure 2. Three basic sections can be distinguished on the surface of the probe PCB.

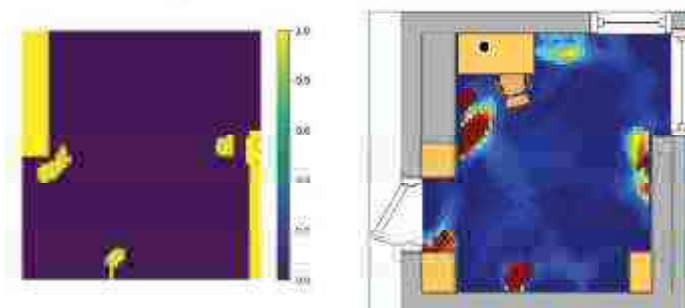
The upper left corner is occupied by a power supply section equipped with a galvanic cell charging controller, signalling of energy processes carried out using light emitting diodes, as well as a standardized USB micro port. The process of charging the cell can be recognized by the constant lighting of the orange indicator located in the lower left corner of the device (Figure 4). The whole is protected against short circuit by means of a fuse.

On the opposite side of the PCB there is a control and computational section, the most important element of which is the STM32 microcontroller from the high-efficiency L0 series built on basis of ARM Cortex M0+ core. All communication ports of the device converge here. The microcontroller can be reprogrammed at any time by using the STLink/V2 programmer connector visible on the right (*DIO & CLK*). It also provides an alternative power supply path for the probe. When the connection with the device is lost, the reset can be forced using the button in the upper right corner of the PCB. For purposes of increasing the adaptability of the system in the lower right corner, three control buttons have been added for general applications depending on the version of software in the microcontroller memory.



**Fig. 2.** View of a method of making a fragment of the radio tomography in the room under examination

The last area are surfaces completely devoid of copper layers (white areas in Figure 2). They are occupied by Bluetooth and XBee communication modules. They have been configured in such a way as to best provide services for radio tomography. Each module has its own transmitting and receiving antenna, which allows both communication standards to work independently. In addition, to increase the number of operations performed in parallel (which has a direct impact on the overall system speed), all UART interfaces between the modules are configured in full-duplex mode.



**Fig. 3.** Reconstruction of the room (left) and heat map (right) obtained by radio tomography

## References

- [1] Styła M., Oleszek M., Rymarczyk T., Maj M., Adamkiewicz P., Hybrid sensor for detection of objects using radio tomography, 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine, PTZE 2019, 2019, 219-223.
- [2] Maj M., Rymarczyk T., Kania K., Niderla K., Styła M., Adamkiewicz P.: Application of the Fresnel zone and Free-space Path for image reconstruction in radio tomography, International Interdisciplinary PhD Workshop 2019, IIPhDW 2019, 15 – 17 May 2019, Wismar, Germany.
- [3] Rymarczyk T., Styła M., Oleszek M., Maj M., Kania K., Adamkiewicz P.: Object detection using radio imaging tomography and tomographic sensors, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 96 NR 1/2020.



# USAGE OF THE GPR METHOD TO DETERMINE THE WORKING RESISTANCE OF DEEP SOIL REMEDIATION TOOLS

Akinniyi AKINSUNMADE<sup>1</sup>, Sylwia TOMECKA-SUCHOŃ<sup>1</sup>,  
Paweł KIEŁBASA<sup>2</sup>, Tadeusz JULISZEWSKI<sup>2</sup>, Paweł PYSZ<sup>1</sup>,  
Jerzy KARCZEWSKI<sup>1</sup>, Mirosław ZAGÓRDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> AGH University of Science and Technology, Krakow

<sup>2</sup> University of Agriculture in Krakow

## Introduction

Ground penetrating radar (GPR) is a geophysical exploration technique used in a wide range of applications such as polar exploration, hydrogeology surveys, and archaeological prospection. In recent years, it has been applied in precision agriculture for forecasting of soil's moisture and compaction. However the results of such measurements are restricted by the problem of ambiguity, associated with a large number of soil parameters affecting the result [1].

The purpose of this study is to: analyzed and summarized the GPR signal and its attributes for field representative cases with known compaction distribution within it, and to introduce a new method for identifying working resistance of soil remediation tools automatically.

Firstly, the signal and attribute analysis technology of GPR is introduced, and the law of electromagnetic waves propagation in soil is studied from three perspectives: the time domain, frequency domain and time-frequency domain by using computational simulations and field cases. Secondly, a quantitative representation method for GPR attribute characteristic is studied, and a method for calculating the absorption attenuation of GPR signals is proposed on the basis of the generalized S transform and wavelet spectrum simulation. Finally, an intelligent identification model of working resistance investigation for soil remediation tools is established in accordance with a Gaussian machine learning method [2].

## Field measurements

The field measurements was carried out on the testing ground of the Faculty of Production and Power Engineering of University of Agriculture in Krakow. The variable working resistance of the soil was simulated by the local increase in soil compaction caused by the passage of the tractor (MF 235 with a mass of 26.5 kN located symmetrically on wheels). Soil compaction was measured with a Penetrologger Eijkelkamp cone penetrometer with the ThetaProbe probe according to ASAE standards (currently ASABE). The sounding depth was 0.8 m when recording the measured value of profile compactness at 0.01 m intervals. The measurements were carried out using a cone with a nominal diameter of 11.28 mm, an opening angle of 30 ° and the average cone penetration speed was 5 cm·s<sup>-1</sup>.

GPR measurements were made with the ProEx System from the Swedish company Mala GeoScience, where the reflective profiling method was used, whereby both antennas moved simultaneously along the measurement paths and perpendicular to the analyzed soil profile. The tests were carried out using a 800 MHz and 1600 MHz shielded antennas.

### Data analysis

The results of GPR measurements were processed in a cautious way allowing preservation of true amplitude relations using the ReflexW program. In addition to field data, data obtained from computer simulations were tested in further analysis. Both data sets (field and simulated) have been subjected to an analysis of the signal and its attributes by using OpendTect and Matlab software. Example results of these analyzes are shown in Fig 1 and Fig 2. The data on soil compaction allowed to extract those characteristics of the GPR signal that best describe the composition, and thus the mechanical resistance of the soil. Finally, the data on the composition and selected characteristics of the GPR signal served as input for Gaussian machine learning method and allowed to build a model of mechanical resistance automatic recognition.

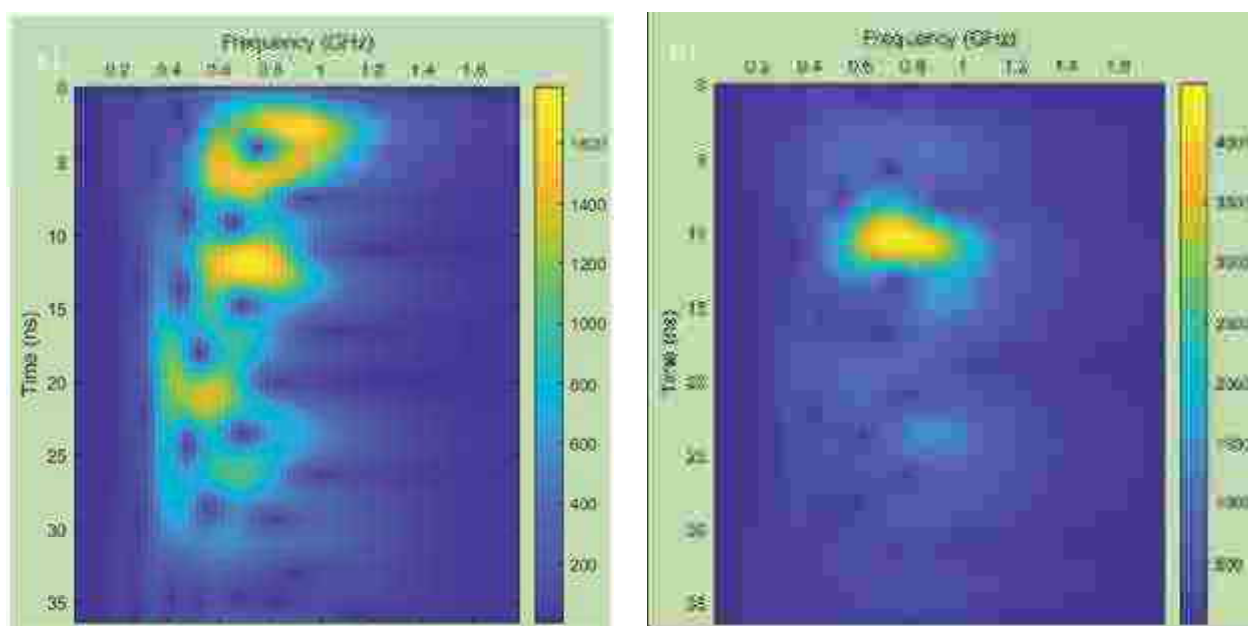


Fig 1. Time-frequency distributions for a) soil with low and b) high compaction in top part

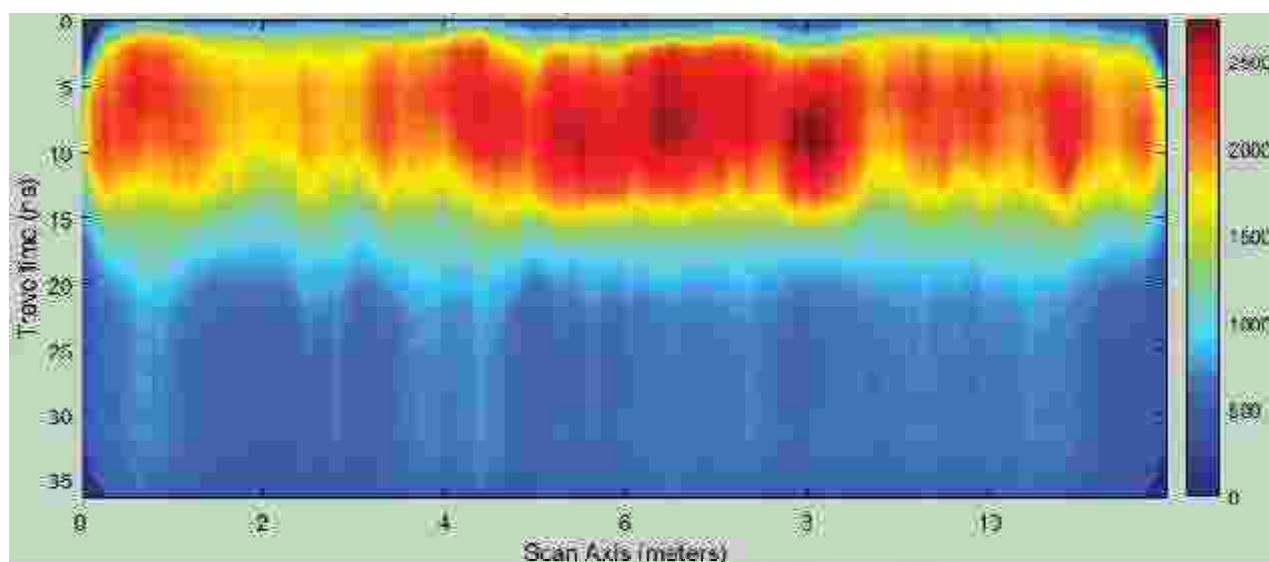


Fig 2. Frequency spectra of instantaneous amplitude

### **Summary**

Results from the signal and attribute analysis of field cases and simulated data indicate that the specific characteristics of the GPR reflected wave can be represented in some respects by each GPR attribute. Thus, the method proposed in this paper could enhance the accuracy of GPR interpretation of soil working resistance within agricultural fields.

### **Literatura**

- [1] Wang, P., Hu, Z., Zhao, Y., & Li, X. (2016). Experimental study of soil compaction effects on GPR signals. *Journal of Applied Geophysics*, 126, 128-137.
- [2] Rasmussen, C. E. and C. K. I. Williams. *Gaussian Processes for Machine Learning*. MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 2006.

# ZNACZENIE SPEŁNIENIA WARUNKU QUASI-STACJONARNOŚCI W BADANIACH WIELKOŚCI IMPULSOWYCH

Karol ANISEROWICZ

Wydział Elektryczny, Politechnika Białostocka

W wielu materiałach konferencyjnych oraz w czasopiśmie pojawiają się publikacje badań wielkości impulsowych, których autorzy pomijają sprawdzenie spełnienia warunku quasi-stacjonarności w badanych układach. Mowa tu o pracach zarówno obliczeniowych, jak i eksperymentalnych, dotyczących zagadnień kompatybilności elektromagnetycznej w obiektach budowlanych, a szczególnie ochrony odgromowej oraz ochrony przed przepięciami w instalacjach elektrycznych. Prowadzi to do niepoprawnych wyników badań w górnej części widma analizowanych wielkości.

Spełnienie warunku quasi-stacjonarności (quasi-stacjonarności) ma fundamentalne znaczenie dla zdefiniowania podstawowych wielkości teorii obwodów: napięcia, natężenia prądu elektrycznego i impedancji (ogólniej: immitancji). Przywołajmy równania Maxwella, ilustrujące naturalne sprzężenie między polem elektrycznym i magnetycznym:

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{E} &= -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{J} - \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}\end{aligned}$$

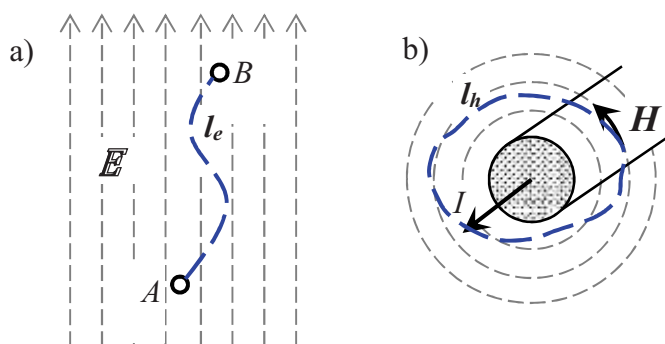
Warunek quasi-stacjonarności w ośrodku dielektrycznym, np. w powietrzu, jest spełniony, jeśli wielkości opisujące pole elektromagnetyczne są wolnozmiennie, czyli  $\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \approx 0$  i  $\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \approx 0$ . Można wtedy zaniedbać sprzężenie między tymi wielkościami i ich charakter falowy [1]. Między natężeniem  $\mathbf{E}$  a potencjałem skalarnym  $\Phi$  w takim polu spełniony jest związek:

$$\mathbf{E} = -\nabla\Phi$$

Napięcie między punktami  $A$  i  $B$  oraz prąd  $I$  są określane na podstawie zależności (rys. 1):

$$\begin{aligned}U_{AB}(t) &= -\int_{l_e} \mathbf{E}(t) \cdot d\mathbf{l} \\ I(t) &= \oint_{l_h} \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l}\end{aligned}$$

Po lewej i prawej stronie powyższych równości występuje ta sama chwila  $t$ , co oznacza, że proces całkowania musi odbywać się w czasie pomijalnie krótkim. W przeciwnym przypadku nie jest możliwe jednoznaczne zdefiniowanie napięcia lub prądu, gdyż wynik będzie zależał od drogi całkowania. Czas  $\tau$  propagacji sygnału wzdłuż drogi całkowania  $l$  trwa  $\tau = cl$ . Konieczne jest rozważenie, w jakich przypadkach można go zaniedbać.

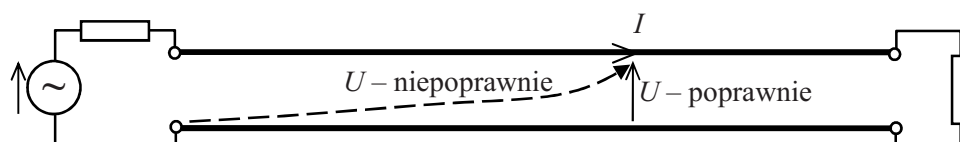


**Rys. 1.** Ilustracja określenia napięcia między punktami A i B (a) oraz określenia prądu na podstawie prawa przepływu Ampere'a (b)

Dla typowego zaburzenia elektromagnetycznego o charakterze impulsowym czas czoła  $t_f$  jest krótszy od jego czasu trwania  $t_d$  (lub czasu do półszczytu), zatem czas  $\tau$  musi być znacznie krótszy od czasu czoła impulsu [1]. Kształt czoła bywa aproksymowany przez 1/4 przebiegu sinusoidalnego, jak np. w serii norm PN-EN 62305 [2], zatem czas  $\tau$  musi być znacznie krótszy od 1/4 okresu  $T$  tej sinusoidy ( $T \approx 4t_f$ ). W dziedzinie częstotliwości przekłada się to na warunek, że największy wymiar badanego układu powinien być znacznie mniejszy od ćwierci długości fali  $\lambda$  odpowiadającej częstotliwości ograniczającej od góry widmo impulsu ( $l \ll \lambda/4$ ).

Opisane ograniczenie jest w praktyce spotykane znacznie częściej przy wyznaczaniu napięcia (dotyczy np. długości przewodów łączących woltomierz z punktami A i B wzdłuż drogi  $l_e$  – rys. 1) niż prądu (obwód przewodu przyjęty jako  $l_h$ ). Jeśli nie potrafimy zdefiniować napięcia lub prądu, to nie potrafimy go również jednoznacznie obliczyć lub zmierzyć. W konsekwencji, takie wielkości jak impedancja ( $Z = U/I$ ) również nie mogą być wyznaczone.

Podręcznikowym przykładem opisanych wyżej ograniczeń, często nieuświadomianym, jest określenie napięcia między przewodami linii długiej. Średnica  $d$  przewodów i odległość  $D$  między przewodami linii spełniają warunek  $d < D \ll \lambda/4$ , ale nie spełnia go długość linii. Na rysunku 2 pokazano poprawny i niepoprawny sposób określenia napięcia w linii długiej.



**Rys. 2.** Ilustracja określenia napięcia w linii transmisyjnej (długiej)

W przypadku typowych impulsów piorunowych przeważająca część gęstości widmowej mocy zawiera się w paśmie częstotliwości do pojedynczych megaherców. Zakładając  $f \leq 1$  MHz otrzymujemy  $l \ll \lambda/4 = 75$  m w powietrzu, czyli wymiary analizowanego obiektu powinny być rzędu co najwyżej kilkunastu metrów, żeby spełnić warunek quasi-stacjonarności.

W ziemi odległość ta jest znacznie mniejsza, gdyż długość fali wyznacza się z zależności:

$$\lambda_g = 2\pi/\beta_g \cong 2\pi/\sqrt{\frac{\omega\mu_0\sigma_g}{2}} \approx 3160/\sqrt{f\sigma_g}$$

Przykładowo, w glebie o konduktywności  $\sigma_g = 0,01$  S/m otrzymuje się  $\lambda_g/4 \approx 25$  m dla 100 kHz i  $\lambda_g/4 \approx 8$  m dla 1 MHz.

Widać stąd, że przy wymuszeniu impulsowym pomiary lub obliczenia dotyczące szczególnie rozkładu potencjału powinny być wykonywane ze szczególnym namysłem. Dla wyznaczenia rozkładu potencjału

istotne jest, by tzw. ziemia odniesienia znajdowała się dostatecznie daleko od analizowanego punktu, a określenie „dostatecznie daleko” może oznaczać zaledwie kilka-kilkanaście metrów. Dotyczy to również ograniczenia częstotliwościowego zakresu stosowalności takich pojęć, jak rezystancja uziemienia czy impedancja udarowa.

Podsumowując, jeśli warunek quasi-stacjonarności nie jest spełniony, to definicje podstawowych wielkości teorii obwodów elektrycznych, szczególnie napięcia i impedancji, nie są jednoznaczne, a zatem próby interpretacji rezultatów ich obliczeń lub pomiarów z użyciem długich przewodów mogą prowadzić do fałszywych wniosków.

### **Literatura**

- [1] A. Küchler, *High Voltage Engineering: Fundamentals – Technology – Applications*, 5th ed., Springer Vieweg, 2018.
- [2] PN-EN 62305, *Ochrona odgromowa*, seria norm.

# STEROWANIE ELEKTROWNIĄ WIATROWĄ Z ESTYMACJĄ MOMENTU AERODYNAMICZNEGO PRZY DUŻYCH PRĘDKOŚCIACH WIATRU

Janusz BARAN, Andrzej JĄDERKO

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## Wprowadzenie

Rozróżnia się cztery obszary (strefy) pracy turbiny wiatrowej w zależności od aktualnej prędkości wiatru. Pierwszą strefą pracy jest start turbiny przy minimalnej prędkości wiatru. W drugiej strefie pracy, w zakresie małych i średnich prędkości wiatru pomiędzy prędkością startu  $V_{ws}$ , a prędkością znamionową  $V_{wN}$ , układ regulacji ma za zadanie sterowanie prędkością wału w sposób zapewniający maksymalną wartość możliwej do uzyskania mocy generatora.

W strefie trzeciej, przy prędkości wiatru bliskiej znamionowej, praca turbiny odbywa się ze stałą prędkością obrotową nieco mniejszą od optymalnej. W strefie czwartej turbina wiatrowa pracuje przy stałej mocy, równej mocy znamionowej, co wymaga od układu regulacji zwiększania lub zmniejszania prędkości obrotowej generatora przy zmianach prędkości wiatru [1, 2].

## Regulacja prędkości z estymacją efektywnej prędkości wiatru

Jednym z głównych problemów w sterowaniu turbiną wiatrową jest brak możliwości dokładnego pomiaru prędkości wiatru oddziałującego na wirnik turbiny ze względu na rozmiary koła wiatrowego. Stosowany często pomiar prędkości wiatru na gondoli turbiny wiatrowej jest silnie zakłócony przez zawirowania (turbulencje) od łopat wirnika, co wymaga specjalnych algorytmów przeliczeniowych i nie zawsze daje pożądaną dokładność [3]. Często stosuje się układy odtwarzania niemierzalnych zmiennych [3, 4, 5]. Przy założeniu, że wirnik turbiny ustawiony jest prostopadłe do kierunku wiatru, moment aerodynamiczny wywołany przez przepływ wiatru, jest równy [6]:

$$T_w = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 \frac{V^3}{\omega_t} C_p(\lambda), \quad \text{gdzie: } \lambda = \frac{\omega_t R}{V_w} \quad (1)$$

gdzie:  $\rho$  – gęstość powietrza,  $R$  – promień koła wiatrowego turbiny,  $\omega_t$  – prędkość kątowna wirnika turbiny,  $C_p = f(\lambda)$  – współczynnik wykorzystania energii wiatru, przy czym  $\lambda$  – wyróżnik szybkości (*tip-speed ratio*), gdzie:  $V_w$  – efektywna, uśredniona prędkość wiatru oddziałującego na wirnik turbiny.

Celem sterowania w warunkach wiatrowych powyżej znamionowych jest regulacja z zachowaniem stałej mocy wytwarzanej, co odpowiada pracy elektrowni na odcinku paraboli stałej mocy CGD (rys. 1). Regulacja mocy na odcinku CGD oparta jest na estymowanej wartości efektywnej prędkości wiatru  $\hat{V}_w$  [1, 2,]. Idea wyznaczenia efektywnej prędkości wiatru opiera się na wykorzystaniu estymowanej wartości momentu aerodynamicznego  $\hat{T}_w$  oraz przekształconej postaci równania (1):

$$T_w - \hat{T}_w = 0, \quad \frac{\pi}{2} \rho R^3 C_q V_w^2 - \hat{T}_w = 0, \quad (2)$$

$$\text{gdzie: } C_q = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda}, \quad V_w = \frac{\omega_t R}{\lambda}, \quad (3)$$

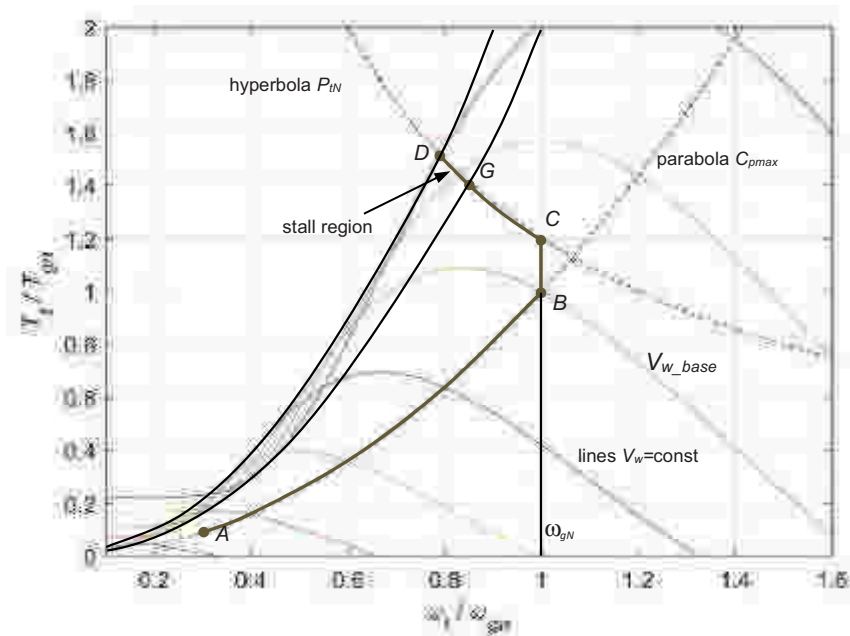
w wyniku których otrzymuje się przekształconą zależność (2) jako funkcję parametru  $\lambda$

$$\hat{T}_W - \frac{\pi \rho R^5 \omega_t^2 C_p(\lambda)}{\lambda^3} = 0 \quad (4)$$

Równanie (4) może zostać dalej przekształcone do postaci, która umożliwi praktyczne wyznaczenie współczynników szybkobieżności na podstawie estymowanej wartości momentu aerodynamicznego  $\hat{T}_W$  oraz zmierzonej wartości prędkości obrotowej  $\omega_t$  turbiny [1, 2]:

$$f(\lambda) - \frac{2}{\pi \rho R^5 \omega_W^2} \hat{T}_W = 0, \quad \text{gdzie: } f(\lambda) = \frac{C_p(\lambda)}{\lambda^3} \quad (5)$$

Na rysunku 1 pokazano charakterystyki momentu aerodynamicznego turbiny dla różnych prędkości wiatru – moment i prędkość kątową turbiny podano w jednostkach względnych. Krzywa od punktu A (start turbiny) do punktu B odpowiada pracy z  $C_{pmax}$ , czyli z punktem pracy położonym na krzywej mocy maksymalnej (strefa II). Strefa pracy od punktu B do punktu C oraz strefa pracy na hiperboli mocy znamionowej (CDG) odpowiadają pracy turbiny w warunkach znamionowej prędkości wiatru (strefa III) oraz powyżej znamionowej prędkości wiatru (strefa IV).



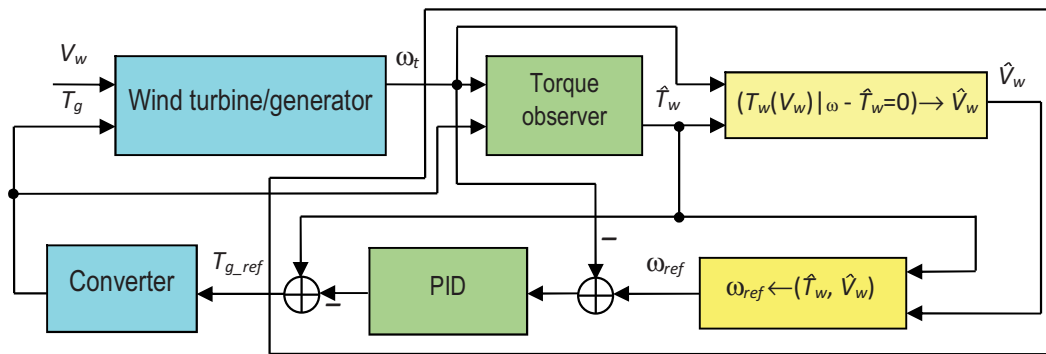
**Rys. 1.** Charakterystyki momentu aerodynamicznego turbiny dla różnych prędkości wiatru

Na rysunku 2 pokazano schemat układu sterowania turbiny wiatrowej z obserwatorem momentu i numerycznym wyznaczeniem efektywnej prędkości wiatru. W przypadku pracy turbiny wiatrowej w III i IV strefie prędkość zadana regulatora PID  $\omega_{ref}$  jest określona zależnościami [6]:

$$\omega_{ref} = f(\hat{V}_W) = \begin{cases} \omega_N, & \text{if } V_{W\omega N} \leq \hat{V} < V_{WN}, \\ \omega_g : \frac{1}{2} \rho \pi R^2 \left( \frac{R \omega_g}{\hat{V}_W} \right) \hat{V}_W^3 = P_N, & \text{if } \hat{V}_W \geq V_{WN}, \end{cases} \quad (6)$$

gdzie:  $V_{W\omega N}$  – prędkość wiatru odpowiadająca znamionowej prędkości turbiny,  $V_{WN}$  – znamionowa prędkość wiatru,  $\omega_g$  – prędkość generatora,  $\omega_N$  – znamionowa prędkość turbiny.





**Rys. 2.** Schemat układu sterowania turbiny wiatrowej z obserwatorem momentu i numerycznym wyznaczaniem efektywnej prędkości wiatru

Model symulacyjny został opracowany w środowisku programistycznym Matlab/Simulink z wykorzystaniem bloków biblioteki Simscape Electrical [7, 8].

### Literatura

- [1] Bourlis D. „Control algorithms and implementation for variable speed stall regulated wind turbines”, PhD thesis, Department of Engineering, University of Leicester, October 2010
- [2] Bourlis D., A Complete Control Scheme for Variable Speed Stall Regulated Wind Turbines, in: Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, Ed. by R.Carriveau, InTech, pp. 309-338, 2011
- [3] Baran J., Jąderko A., Układ sterowania turbiny wiatrowej o regulowanej prędkości obrotowej i stałym kącie ustawienia łopatek z liniowym obserwatorem momentu aerodynamicznego, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 93, No 12, pp. 59-62, 2017
- [4] Hu Z., Wang J., Ma Y., Yan X., Research on Speed Control System for Fixed-Pitch Wind Turbine Based on Disturbance Observer, 2009 World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference, pp. 221-225, Nanjing, 2009
- [5] Neammanee B., Sirisumrannukul S., Chatratana S., Control Strategies for Variable-speed Fixed-pitch Wind Turbines, *Wind Power*, Ed. By S.M. Muyeen, InTech, pp. 209-232, 2010
- [6] Bianchi F., De Battista H., Mantz R., Wind Turbine Control Systems. Principles, Modelling and Gain Scheduling Design, Springer, 2007
- [7] Perelmuter V., Renewable Energy Systems. Simulation with Simulink and SimPowerSystems, CRC Press, 2016
- [8] Simscape Electrical User's Guide, The Mathworks Inc., 2019

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

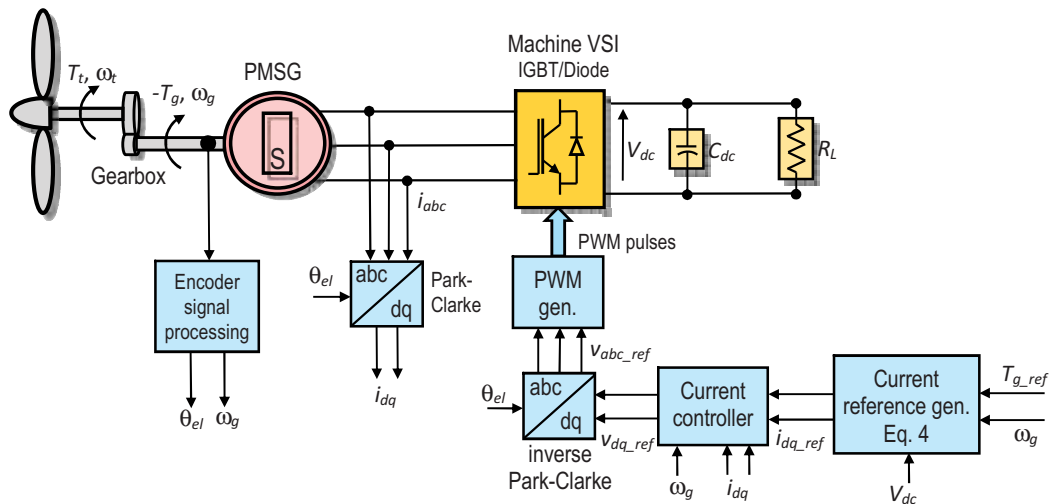
# STEROWANIE MPPT ELEKTROWNIĄ WIATROWĄ Z GENERATOREM PMSG Z ESTYMACJĄ MOMENTU I EFEKTYWNEJ PRĘDKOŚCI WIATRU

Janusz BARAN, Andrzej JĄDERKO

Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## Wprowadzenie

Artykuł przedstawia wyniki badań symulacyjnych algorytmu sterowania elektrowni wiatrowej o zmiennej prędkości obrotowej ze sterowanym wektorowo generatorem PMSG. Schemat części elektrycznej analizowanego układu z układem sterowania przekształtnika jest przedstawiony na rysunku 1. Model symulacyjny został opracowany w środowisku programistycznym Matlab/Simulink z wykorzystaniem bloków biblioteki Simscape Electrical [6, 9, 10].



**Rys. 1.** Schemat układu turbiny wiatrowej sprzęgniętej z generatorem PMSG sterowanym z przekształtnika 6T. Algorytm sterowania generatora działa w układzie współrzędnych prostokątnych  $d$ - $q$  wirującym z prędkością obrotową wirnika generatora

Trójfazowe prądy i napięcia generatora są transformowane za pomocą przekształcenia Park-Clarke do układu prostokątnego  $d$ - $q$  wirującego z elektryczną częstotliwością kątową (prędkością synchroniczną)  $\omega_e = n_p \omega_g$ , gdzie:  $\omega_g$  - prędkość obrotowa generatora,  $n_p$  - liczba par biegunów generatora. Równania napięciowe generatora w układzie  $d$ - $q$  [8]:

$$L_d \frac{di_d}{dt} = -Ri_d + \omega_e L_q i_q + v_d, \quad L_q \frac{di_q}{dt} = -Ri_q - \omega_e L_d i_d - \omega_e \phi_f + v_q \quad (1)$$

gdzie:  $L_d, L_q$  – indukcyjności stojana w osiach  $d$ - $q$ ,  $R$  – rezystancja stojana,  $\phi_f$  – strumień magnetyczny indukowany w fazach stojana przez magnesy trwale wirnika (strumień sprzężony). Moment elektromagnetyczny wytwarzany przez PMSG (strumień  $\phi_f$  jest skierowany wzdłuż osi  $d$ ):

$$T_e = T_g = \frac{3}{2} n_p \left[ \underbrace{\phi_f i_q}_{\text{moment PM}} + \underbrace{(L_d - L_q) i_d i_q}_{\text{moment reluktancyjny}} \right] \quad (2)$$

W artykule rozważany jest generator z biegunami utajonymi (PM montowane powierzchniowo). W takim przypadku  $L_d=L_q$  i generator nie wytwarza momentu reluktancyjnego. Występujące w równaniach (1) składniki  $\omega_e L_q i_q$  i  $\omega_e L_d i_d$  są napięciami prędkościowymi sprzęgającymi równania w osiach  $d-q$ . W celu odsprężenia sterowania w obu osiach do wyjść regulatora prądu dodawane są składowe kompensujące (*feedforward compensation*):

$$v_{d\_ff} = -\omega_e L_q i_q, \quad v_{q\_ff} = \omega_e (L_d i_d + \phi_f) \quad (3)$$

Generator wytwarza maksymalny moment, jeżeli w układzie  $d-q$  wektor prądu jest prostopadły do wektora strumienia  $\phi_f$ . Dlatego układ wytwarzania prądów zadanych (rys. 1) realizuje zależności wynikające z (2):

$$i_{q\_ref} = \frac{2T_{g\_ref}}{3n_p \phi_f}, \quad i_{d\_ref} = 0 \quad (4)$$

W pracy [7] zależność dynamiczna momentu wytwarzanego  $T_g$  od momentu zadanego  $T_{g\_ref}$  jest modelowana transmitancją I rzędu o małej stałej czasowej 0.1s. W niniejszej pracy rozważany jest szczegółowy model elektryczny tej zależności.

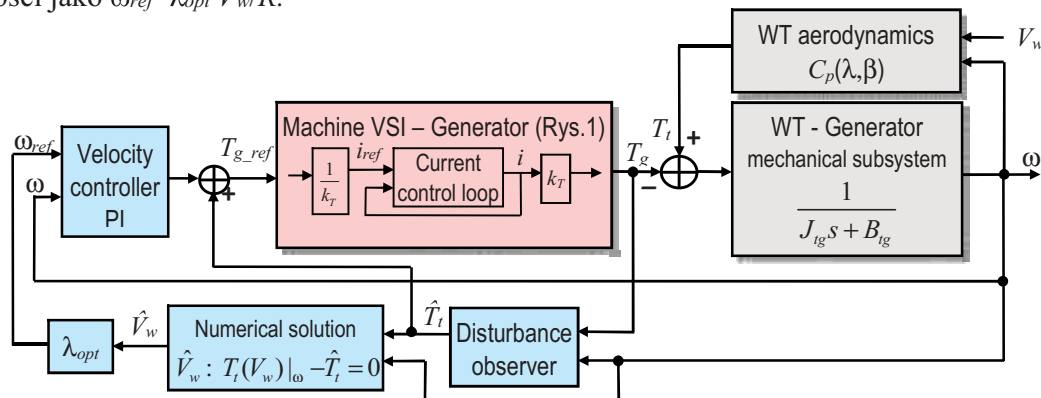
### Regulacja prędkości z estymacją efektywnej prędkości wiatru

Rozpatrywane jest działanie WECS w strefie słabych i średnich efektywnych prędkości wiatru  $V_w$ . Celem sterowania w tej strefie jest przechwytywanie przez turbinę wiatrową mocy aerodynamicznej  $P_a$  z maksymalną efektywnością określaną przez współczynnik wykorzystania energii wiatru  $C_p(\lambda)=P_t/P_a$ , gdzie:  $P_t$  - moc mechaniczna wytwarzana przez turbinę.  $C_p$  jest nieliniową funkcją współczynnika  $\lambda=\omega_t R/V_w$  (*tip-speed ratio*), gdzie  $\omega_t$  - prędkość obrotowa turbiny,  $R$  - promień łopatek wirnika. Moc mechaniczna i moment obrotowy wytwarzane przez turbinę [1]:

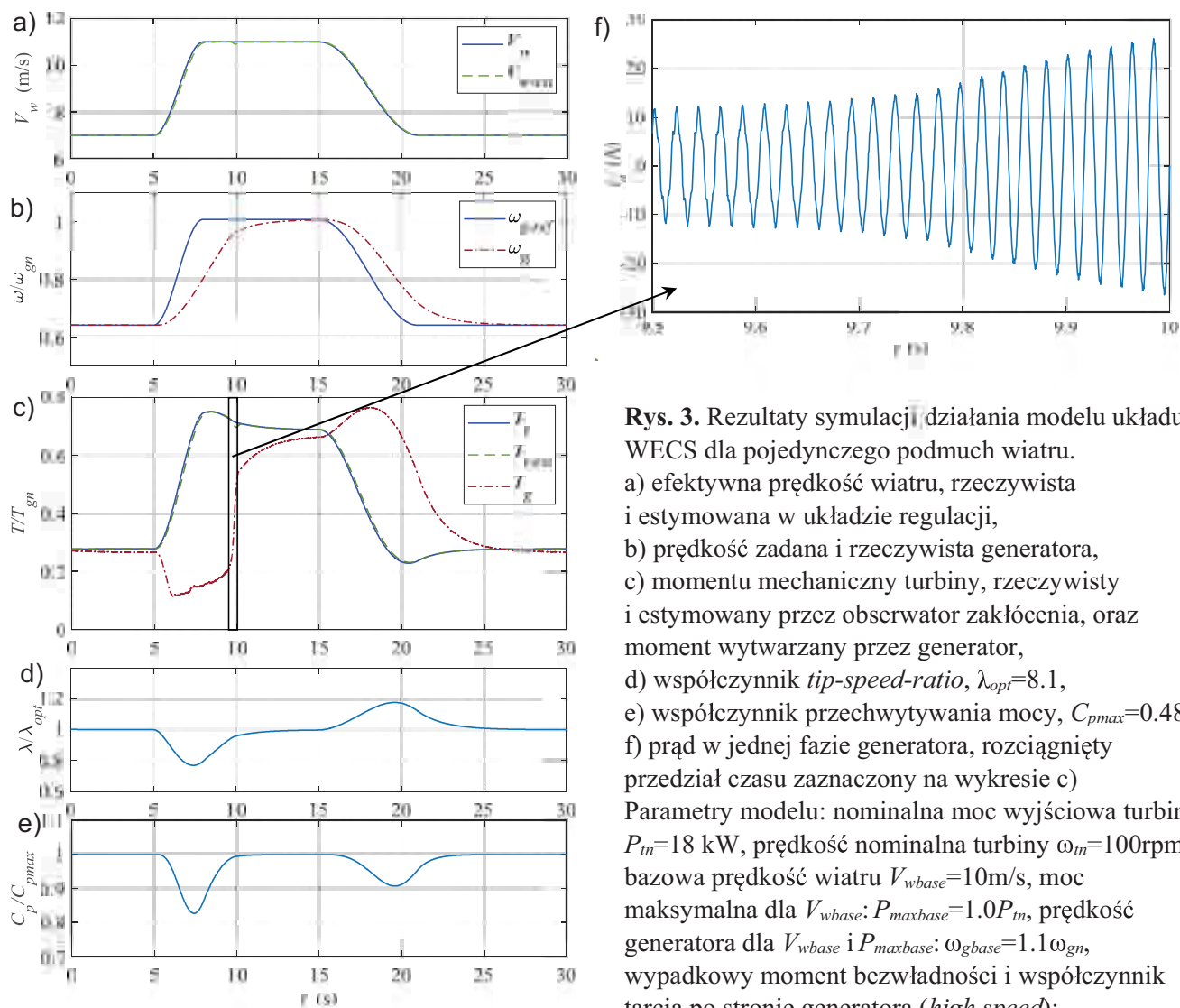
$$P_t = \frac{1}{2} \pi \rho R^2 C_p(\lambda) V_w^3, \quad T_t = \frac{P_t}{\omega_t} = K \omega_t^2, \quad \text{gdzie } K = \frac{1}{2} \pi \rho R^5 \frac{C_p}{\lambda^3} \quad (5)$$

gdzie:  $\rho$  - gęstość powietrza. Celem sterowania utrzymywanie WECS w punkcie pracy o maksymalnej wartości  $C_{pmax}$  występującej dla pewnej optymalnej wartości  $\lambda_{opt}$ . Efektywna prędkość wiatru nie jest wielkością mierzalną (anemometry mierzą prędkość wiatru punktowo i w pewnej odległości od wirnika turbiny) i w związku z tym stosuje się układy odtwarzające  $V_w$  na podstawie dostępnych i estymowanych zmiennych stanu oraz znanej dla danej konstrukcji zależności  $C_p(\lambda)$ .

Schemat rozpatrywanego w pracy układu sterowania jest pokazany na rysunku 2. Przyjęto jednomasowy model dynamiczny części mechanicznej, adekwatny dla turbin o niewielkiej mocy, i zastosowano dynamiczny liniowy obserwator zakłócenia [2, 5, 7] do wyznaczania estymaty  $\hat{T}_t$  momentu turbiny. Estymata  $\hat{V}_w$  jest wyznaczana przez numeryczne rozwiązanie równania algebraicznego wynikającego z charakterystyki  $C_p(\lambda)$  [3, 4], a jej znajomość umożliwia określenie prędkości zadanej dla regulatora prędkości jako  $\omega_{ref}=\lambda_{opt} \hat{V}_w/R$ .



**Rys. 2.** Układ sterowania z obserwatorem  $T_t$  i numerycznym wyznaczeniem  $V_w$ . Pominięto przekładnię, tzn.  $\omega=\omega_g=\omega_t$ .  $J_{ig}$ ,  $B_{ig}$  – wypadkowy moment bezwładności i współczynnik tarcia generatora z turbiną.



**Rys. 3.** Rezultaty symulacji działania modelu układu WECS dla pojedynczego podmuchu wiatru. a) efektywna prędkość wiatru, rzeczywista i estymowana w układzie regulacji, b) prędkość zadana i rzeczywista generatora, c) momentu mechanicznego turbiny, rzeczywisty i estymowany przez obserwator zakłócenia, oraz moment wytwarzany przez generator, d) współczynnik *tip-speed-ratio*,  $\lambda_{opt}=8.1$ , e) współczynnik przechwytywania mocy,  $C_{pmax}=0.48$ , f) prąd w jednej fazie generatora, rozciągnięty przedział czasu zaznaczony na wykresie c) Parametry modelu: nominalna moc wyjściowa turbiny  $P_m=18$  kW, prędkość nominalna turbiny  $\omega_m=100$ rpm, bazowa prędkość wiatru  $V_{wbase}=10$ m/s, moc maksymalna dla  $V_{wbase}$ :  $P_{maxbase}=1.0P_m$ , prędkość generatora dla  $V_{wbase}$  i  $P_{maxbase}$ :  $\omega_{gbase}=1.1\omega_{gn}$ , wypadkowy moment bezwładności i współczynnik tarcia po stronie generatora (*high speed*):  $J_{hs}=11.27$  kg·m<sup>2</sup>,  $B_{hs}=0.03$ N·m/s/rad, przekładnia  $G=10$ , częstotliwość przełączania PWM  $f_{sw}=2$ kHz, moc i napięcie nominalne generatora:  $P_{gn}=20$  kVA,  $V_n=400$ V,  $n_p=3$ ,  $R=0.2\Omega$ ,  $L_d=L_c=15$ mH,  $\phi_f=0.85$ Wb. Krok obliczeń (model czasu dyskretnego)  $T_s=5\mu$ s.

## Literatura

- [1] Bianchi F., De Battista H., Mantz R., Wind Turbine Control Systems. Principles, Modelling and Gain Scheduling Design, Springer, 2007
- [2] Hu Z., Wang J., Ma Y., Yan X., Research on Speed Control System for Fixed-Pitch Wind Turbine Based on Disturbance Observer, 2009 World Non-Grid-Connected Wind Power and Energy Conference, pp. 221-225, Nanjing, 2009
- [3] Neammanee B., Sirisumrannukul S., Chatratana S., Control Strategies for Variable-speed Fixed-pitch Wind Turbines, in: Wind Power, Ed. by S.M. Muyeen, InTech, pp. 209-232, 2010
- [4] Bourlis D., A Complete Control Scheme for Variable Speed Stall Regulated Wind Turbines, in: Fundamental and Advanced Topics in Wind Power, Ed. by R.Carriveau, InTech, pp. 309-338, 2011

- [5] Li S., Yang J., Chen W., Chen X., Disturbance Observer-Based Control. Methods and Applications, CRC Press, 2014
- [6] Perelmuter V., Renewable Energy Systems. Simulation with Simulink and SimPowerSystems, CRC Press, 2016
- [7] Baran J., Jąderko A., Układ sterowania turbiny wiatrowej o regulowanej prędkości obrotowej i stałym kącie ustawienia łopat z liniowym obserwatorem momentu aerodynamicznego, Przegląd Elektrotechniczny, Vol. 93, No 12, pp. 59-62, 2017
- [8] Kim S.-H., Electric Motor Control. DC, AC, and BLDC Motors, Elsevier, 2017
- [9] Simscape Electrical User's Guide, The Mathworks Inc., 2019
- [10] Hydro-Quebec, Simscape Electrical User's Guide (Specialized Power Systems), The Mathworks Inc., 2019

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# STANOWISKA LABORATORYJNE DO GENEROWANIA ZMIENNEGO POLA MAGNETYCZNEGO

Rafał BIAŁEK

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

## Wstęp

W pracy przedstawiono dwa stanowiska do generowania zmiennego pola magnetycznego, oparte na cewce Helmholtza. Stanowiska wykorzystano do przeprowadzenia badań czujnika pola magnetycznego przedstawionego w pracy [1]. Określony kształt postaci czasowej natężenia pola magnetycznego uzyskano poprzez sterowanie prądem cewki. Natężenia pola magnetycznego generowanego przez cewkę Helmholtza jest określone wzorem:

$$H = \left(\frac{4}{5}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot I \cdot \frac{n}{R} \quad (1)$$

gdzie:

I - prąd płynący przez cewkę,

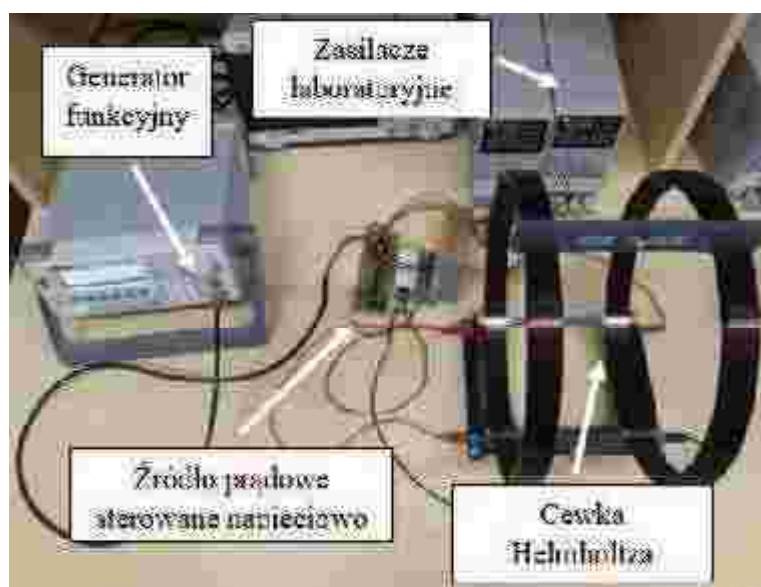
n - liczba zwojów w cewce (n=124),

R - promień cewki (R= 0,15 m) [2].

Wykonanie układów sterujących pracą cewki poprzedzone było symulacjami komputerowymi w programie *Multisim* firmy *National Instruments*.

## Stanowisko laboratoryjne 1

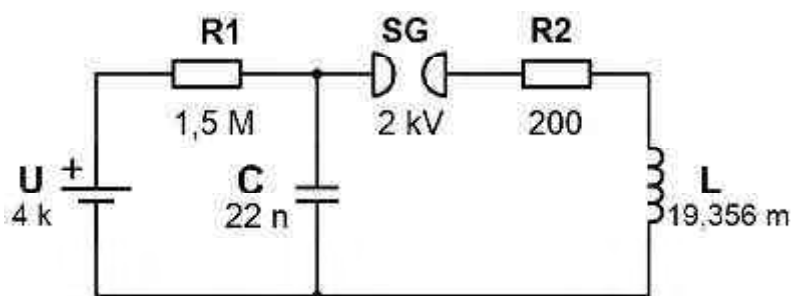
Rolą pierwszego stanowiska było generowanie pola magnetycznego o niskiej częstotliwości o maksymalnym natężeniu ok. 900 A/m. Wykonane zostało źródło prądowe sterowane napięciowo sterujące pracą cewki Helmholtza. Układ umożliwia generowanie pola magnetycznego harmonicznego, odkształconego okresowego i impulsowego. Podczas badań, sygnały sterujące pochodziły z generatora funkcyjnego, umożliwiającego generowanie sygnałów zarówno podstawowych jak i arbitralnych. Widok stanowiska laboratoryjnego przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Wykonane stanowisko laboratoryjne 1

## Stanowisko laboratoryjne 2

Rolą drugiego stanowiska było generowanie impulsowego pola magnetycznego, o częstotliwości środkowej ok. 7,7 kHz i natężeniu pola magnetycznego ok. 1100 A/m. Układ sterujący pracą cewki wykonano w oparciu o źródło wysokiego napięcia 4 kV, rezystor ładujący, iskiernik oraz obwód RLC. Schemat ideowy układu przedstawiono na rysunku 2. Indukcyjność  $L$  reprezentuje indukcyjność cewki Helmholtza.

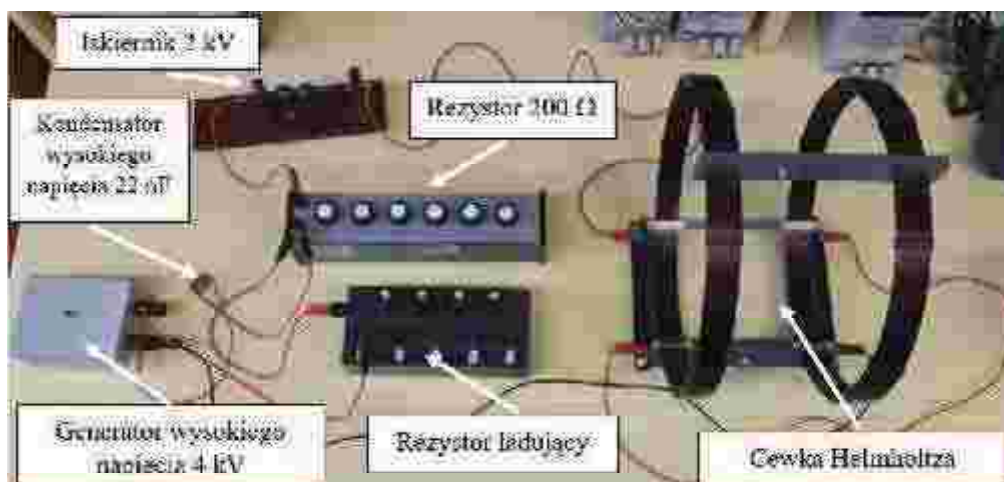


Rys. 2. Układ sterujący pracą cewki w drugim stanowisku laboratoryjnym

Kondensator  $C$  jest ładowany przez rezystor  $R1$ . Osiągnięcie napięcia o wartości 2 kV powoduje przebicie elektryczne na iskierniku  $SG$  oraz gwałtowny spadek jego rezystancji. Tym samym w cewce Helmholtza powstają tłumione drgania sinusoidalne. Drgania te generowane są w czasie wyładowania łukowego. Postać czasowa prądu płynącego przez cewkę jest zgodna z zależnością:

$$i(t) = \frac{U_{break}}{2\pi \cdot f \cdot L} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \cdot e^{-\beta \cdot t} \quad (2)$$

Widok wykonanego stanowiska przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Wykonane stanowisko laboratoryjne 2

W pracy przedstawiono wyniki badań symulacyjnych i laboratoryjnych. Postać czasową natężenia pola magnetycznego zmierzono za pomocą miernika 5080 firmy Sypris Test & Measurement (opartego na czujniku Halla).

## Literatura

- [1] R. Białek, M. Wiśnios, and M. Kuchta, “Badania prototypowego detektora pola magnetycznego, w szczególności impulsów HPEM”, *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 95, no. 12, pp. 93–96, 2019.
- [2] Nota katalogowa cewki Helmholtza 1000906, źródło: [https://www.3bscientific.com/product-manual/1000906\\_EN.pdf](https://www.3bscientific.com/product-manual/1000906_EN.pdf).

# ZASTOSOWANIE GRAFICZNEGO TABLETU ELEKTROMAGNETYCZNEGO DO ANALIZY ODRĘCZNIE TWORZONEJ GRAFIKI

Kamila BIAŁEK, Jacek JAKUBOWSKI

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

Sposób odręcznego tworzenia rysunku jest bardzo osobniczy i zależy od wielu czynników takich jak np. zdolności plastyczne, prawo-leworęczność, orientacja ruchowo-przestrzenna, sposób trzymania długopisu, wiek czy po prostu poczucie estetyki osoby wykonującej rysunek. Sprawia to, że obraz czy pismo tworzone ręcznie przez człowieka zawierają w sobie informację na temat jego indywidualnych cech. Jednocześnie ukryte w grafice informacje mogą posłużyć do diagnostyki chorób układu nerwowego i to na wczesnym etapie ich rozwoju. Podczas pisania czy rysowania w sposób naturalny występują zmiany, których ilościowa ocena może wskazać na obecność i progresję objawów choroby. Przykładem jest choroba Parkinsona, której jednym z wykorzystywanych w diagnostyce symptomów jest tendencja do zmniejszania rozmiaru czcionki podczas pisania, tzw. mikrografia [1]. Również proces rysowania zadanych struktur geometrycznych może zostać sparametryzowany i wykorzystany w ocenie funkcji poznawczych i zdolności psychomotorycznych (spirale Archimedesesa, test zegara itp.).

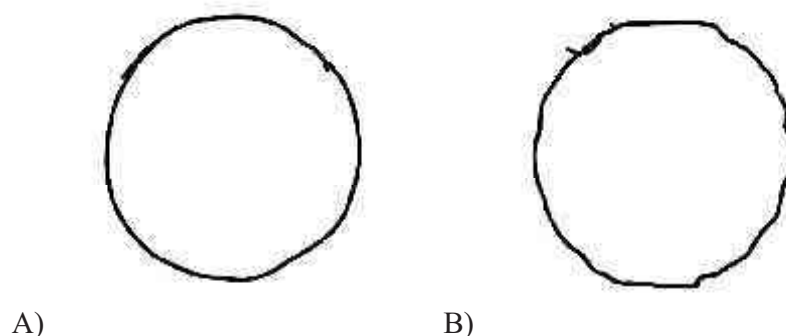
Obecnie na rynku istnieją urządzenia które pozwalają na rejestrację danych obrazujących sposób odręcznego tworzenia rysunku. Są to zaawansowane technologicznie tablety graficzne działające w technologii indukcji elektromagnetycznej. Umożliwiają one zarejestrowanie takich danych, jak położenie pióra, siła nacisku czy kąt nachylenia pióra do powierzchni kartki podczas rysowania po ich powierzchni. Własności tableków tego typu dają potencjalną możliwość ilościowego opisu wykonywanych na jego powierzchni czynności oraz zachodzących w nich zmian. Umożliwiają oprócz analizy gotowego obrazu również analizę dynamiki i kinematyki ich tworzenia, poprzez badanie przebiegów czasowych powstałych podczas rysowania, przez co zwiększają się możliwości interpretacyjne rysunku [2].



Rys. 1. Tablet graficzny Intuos Pro Paper Edition firmy WACOM

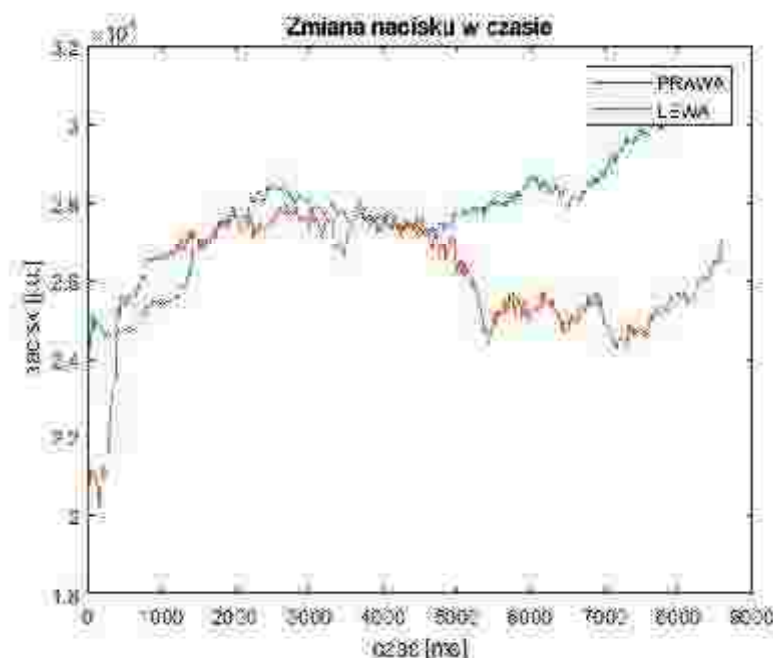
W pracy przedstawione zostaną wyniki analizy rysunków stworzonych odręcznie w grupie 45 osób prawą i lewą ręką. Obrazy były zarejestrowane z wykorzystaniem tabletu graficznego WACOM. W grupie osób wykonujących zadanie byli zarówno mężczyźni jak i kobiety zróżnicowani pod względem wieku, jednak wszyscy praworęczni. Ich zadaniem było obrysowanie okręgu o średnicy 7 cm, znajdującego się na kartce, umieszczonej na powierzchni tabletu. Tablet podłączony został do komputera, który dzięki autorskiemu oprogramowaniu wykonanym w środowisku MATLAB, posłużył do akwizycji danych [3].





**Rys. 2.** Przykładowe zarejestrowane okręgi a) prawa ręka, b) lewa ręka

Otrzymane dane pozwalają na zobrazowanie zmian parametrów takich jak siła nacisku czy położenie rysika. Na ich podstawie możliwe jest wykazanie różnic w rysowaniu okręgu prawą i lewą ręką poprzez wyznaczenie wartości maksymalnych, średnich i odchylenia standardowego dla nacisku oraz określenie zniekształcenia rysunku względem oryginalnego szkicu.



**Rys. 3.** Zmiana nacisku w czasie podczas rysowania okręgu prawą i lewą ręką.

### Literatura

- [1] M. Gawęł, A. Potulska-Chromik: „Choroby neurodegeneracyjne: choroba Alzheimera i Parkinsona”, Postępy Nauk Medycznych, t. XXVIII, nr 7, 2015, ss. 468-476
- [2] Specyfikacja techniczna tabletu WACOM Intous Pro PTH-860
- [3] K. Białek et. al.: “Wybrane zagadnienia wstępnego przetwarzania danych obrazowych w badaniu osób z chorobą Parkinsona”, X Konferencja Naukowa Urządzenia i Systemy Radioelektroniczne UiSR 2019, Jachranka, 20–21.11.2019, materiały konferencyjne.

# WPŁYW PÓL MAGNETYCZNYCH GENEROWANYCH PRZEZ URZĄDZENIA ELEKTRYCZNE I ELEKTRONICZNE NA ŚRODOWISKO KOLEJOWE

Kamil BIAŁEK, Patryk WETOSZKA

Instytut Kolejnictwa, Laboratorium Automatyki i Telekomunikacji, Warszawa

## Wstęp

XXI wiek wprowadził za sobą nagły rozwój systemów i urządzeń elektronicznych, będących sztucznym źródłem promieniowania elektromagnetycznego w zróżnicowanych zakresach częstotliwości. Szerokie zainteresowanie niekorzystnym oddziaływaniem elektromagnetycznych pól z różnych zakresów częstotliwości, wpływu na organizm ludzki i pracę urządzeń elektronicznych nastąpiło z chwilą wprowadzenia przez Unię Europejską dyrektywy dotyczącej kompatybilności elektromagnetycznej. Na skutek powstania niezliczonych źródeł promieniowania nastąpiły poważne zmiany w środowisku elektromagnetycznym Ziemi [1].

## Pola magnetyczne na kolei

Problematyka wysokich poziomów pól magnetycznych obejmuje urządzenia elektroniczne zainstalowane w obiektach stałych (dworce, stacje PKP, podstacje trakcyjne, stanowiska dyżurnego ruchu), ruchomych (pojazdy trakcyjne) oraz urządzenia zainstalowane na szlakach kolejowych.

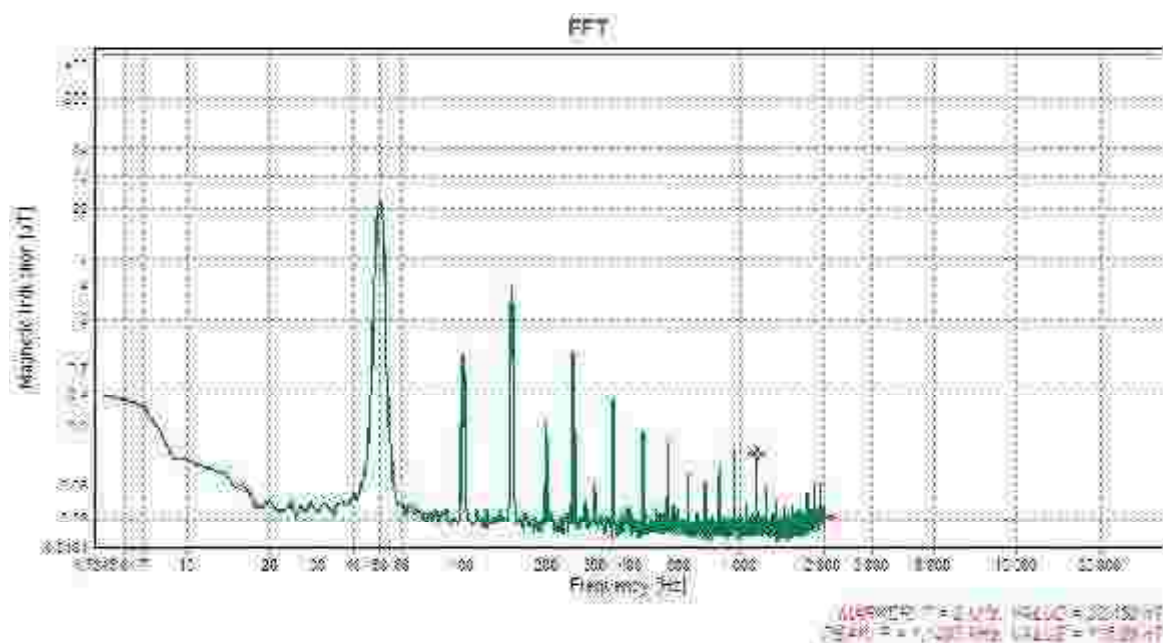
W początkowym okresie rozwoju radiokomunikacji istniejące systemy i urządzenia były znacznie oddalone od siebie w przestrzeni, wykorzystywano układy lampowe o dużej mocy, przekaźniki, dlatego problemy związane z emisją zakłóceń elektromagnetycznych (kompatybilnością) praktycznie nie istniały. Generowane zaburzenia elektromagnetyczne nie stwarzały dużego problemu dla urządzeń i systemów, gdyż były one w przeważającej większości typu elektromechanicznego i zazwyczaj pracowały przy dużych poziomach napięć i prądów.

Rozwój techniki spowodował, że sytuacja ta zaczęła ulegać zmianie. Wprowadzanie coraz większej ilości elementów, urządzeń, systemów elektrycznych i elektronicznych do środowiska kolejowego zaczęły w sposób istotny wpływać na stan środowiska elektromagnetycznego. Wysokie moce jakie towarzyszą prawidłowej eksploatacji urządzeń i pojazdów szynowych niosą za sobą zwiększony poziom generowanych zakłóceń elektromagnetycznych w wielu pasmach częstotliwości. Prowadzone pomiary terenowe oraz prace badawcze pokazują jak negatywny wpływ mają pola magnetyczne i elektryczne na urządzenia i organizmy ludzkie. Niezbadałe źródła zakłóceń mogą mieć katastrofalne skutki na systemy sterowania ruchem kolejowym oraz podsystemy odpowiedzialne za bezpieczeństwo w każdym sektorze gospodarki [2].

Zagadnienia te stanowią w znacznej mierze problem techniczny, jest to mianowicie ochrona środowiska elektromagnetycznego dla potrzeb różnych systemów, wewnętrznych – np. srk, jak i zewnętrznych (np. radiokomunikacja, odbiorniki radiowe i telewizyjne, itd.). Wszystkie zainstalowane urządzenia i systemy narażone są na wpływ zewnętrznego środowiska elektromagnetycznego w jakim się znajdują – w przypadku kolei także na zakłócenia stacjonarne (np. sieć trakcyjną) i niestacjonarne (np. pojazdy, lokomotywy na szlaku kolejowym). Urządzenie także same oddziałują na siebie i środowisko (tzw. kompatybilność wewnętrzna) oraz może stać się źródłem zakłóceń dla innych urządzeń znajdujących się w pobliżu (tzw. kompatybilność zewnętrzna) [3].

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów i przeprowadzono analizę pól magnetycznych AC generowanych przez elektryczne zespoły trakcyjne. Przedstawiono punkty, w których poziom pól magnetycznych jest najwyższy oraz dokonano pomiarów w miejscach często użytkowanych przez ludzi.

Na rysunku 1 przedstawiono przykładową analizę widmową pola magnetycznego w zakresie częstotliwości 5Hz ÷ 2kHz.



Rys. 1. Analiza widmowa pola magnetycznego generowanego przez elektryczne zespoły trakcyjne

## Literatura

- [1] Dłużniewski A., John Ł., Laskowski M.: Ocena poziomu pola elektromagnetycznego w pobliżu szlaku Kolejowego, Przegląd elektrotechniczny, 7/2014, str. 164-167, 2014
- [2] Białek K., Paś J., Środowisko elektromagnetyczne na rozległych terenach kolejowych a proces użytkowania elektronicznych systemów bezpieczeństwa. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport; zeszyt 121, 2018
- [3] Paś J., Charakterystyki wybranych źródeł niezamierzonego promieniowania elektromagnetycznego, AUTOBUSY, 12/2017, str. 1204 – 1207, 2017.

# INFORMACJA I ENERGIA W TELEKOMUNIKACJI

**Paweł BIENKOWSKI, Przemysław SOBKIEWICZ**

Politechnika Wrocławska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki

## **Wstęp**

Podstawowym zadaniem telekomunikacji jest przekazywanie informacji od nadawcy do odbiorcy. Zwykle informacje przesyła się w formie wiadomości a cała procedura oparta jest o typowy schemat: *informacja* → *przygotowanie wiadomości* → *przesyłanie wiadomości* → *odbiór wiadomości* → *odtworzenie informacji z wiadomości*.

Ten uniwersalny schemat podlega różnym modyfikacjom w zależności od rodzaju informacji oraz sposobu jej przekazywania, ale w każdym przypadku będziemy mogli wyróżnić poszczególne etapy i zawsze zauważmy, że do realizacji tego niezbędna jest określona porcja energii. Od zawsze starano się energię potrzebną do przekazania informacji zminimalizować i dotyczy to także telekomunikacji, a w szczególności radiokomunikacji.

## **Informacja w telekomunikacji**

Jak napisano we wstępie, zwykle informacje przekazujemy w formie wiadomości – i musimy pamiętać, że nie każda wiadomość może nieść informację, a jednocześnie ilość informacji w jednej wiadomości może być bardzo różna. W świecie „zcyfrowanym” najmniejszą jednostką informacji jest bit a więc zawartość informacyjną wiadomości możemy wyznaczać w bitach/wiadomość to daje już pierwsze szacunki gęstości informacji w różnych wiadomościach – oczywiście dążymy do tego, żeby w danej wiadomości zmieścić jak najwięcej bitów. Liczba wiadomości przesłanych w czasie jest ograniczona – ogranicza ją tzw. przepustowość kanału. Jeżeli mamy ograniczenie na liczbę możliwych do przesłania bitów – nie pozostaje nic innego jak racjonalnie tymi bitami gospodarować i zmaksymalizować ilość zawartości informacyjnej w dostępnej liczbie bitów. Dochodzimy w ten sposób do kompresji i wspomagającego ją kodowania informacji. Kompresja może być bezstratna i stratna. W przypadku kompresji bezstratnej informacja źródłowa może być odtworzona u odbiorcy w identycznej formie jak przed kompresją. Przykładami kompresji bezstratnej jest np. kompresja plików cyfrowych – popularny „ZIP” czy „RAR”. Polega ona na „sprytnym” przetworzeniu informacji w taki sposób, żeby możliwie dobrze ułożyć informację – np. zamiast przesyłać długi ciąg zer można przesłać informację i liczbie kolejnych zer czy jedynek. Warto też zauważyć, że obecnie stosowane formaty zapisu plików w wielu przypadkach mają wbudowane mechanizmy takiej kompresji – przykładem niech będą formaty zapisu MS Worda – doc i docx – w ramach sprawdzenia polecam ten sam duży plik tekstowy zapisać w obu formatach a potem oba takie pliki „zzipować”. Drugi kierunek wykorzystywany w kompresji bezstratnej to eliminacja informacji nadmiarowej. Dobrym przykładem z telekomunikacji był tu sygnał analogowej telewizji kolorowej. Dla zachowania kompatybilności z telewizją „czarno-białą” niezbędne było przesyłanie sygnału luminancji Y – czyli informacji o jasności obrazu, a do kolorów należało też przesłać informacje o chrominancji trzech barw RGB. Zauważono tu wyraźną nadmiarowość – w pełnym sygnale chrominancji przesyła się też informacje o luminancji – co zrobiono? Dokonano przetworzenia sygnału chrominancji na tak zwane sygnały różnicowe – R-Y i B-Y czyli różnicę między sygnałem reprezentującym kolor czerwony R i sygnałem luminancji Y. To samo zrobiono z kolorem nieniskim B. Za to pominięto kolor zielony G – dlaczego? Bo mówiąc w skrócie – odejmując od luminancji kolor R i B – to co zostanie przynależy do koloru G – to po co go dodatkowo przesyłać?. Ale zauważono również, że sygnały chrominancji można ograniczyć bez utraty jakości odbieranego obrazu – i tu zaczyna się pole do popisu dla kompresji stratnej. Polega ona na eliminacji z informacji źródłowej elementów, które – bardzo ogólnie mówiąc – nie są niezbędne do właściwej interpretacji informacji przez odbiorcę. Oczywiście tak odebrana informacja nie będzie identyczna z informacją źródłową – ale będzie dla

odbiorcy użyteczna. Kompresja stratna stosowana jest w szczególności dla informacji, które są interpretowane przez nasze zmysły – dźwięku, obrazu, ale też słowa pisanego. W realizacji kompresji stratnej wykorzystuje się pewne cechy naszych zmysłów i się te zmysły poniekąd oszukuje. Przykłady – wspomniana wcześniej chrominancja – zmysł wzroku jest znacznie bardziej wrażliwy na jasność niż na barwę – można więc zubożyć informacje o barwie – przesyłać ją np. „z mniejszą rozdzielczością”. Inny przykład – szczegóły obrazu „maskowane” przez dominujące płaszczyzny, szczególnie jasne – olśnienie, niemożność zauważenia szczegółów przy szybkim ruchu obiektu itp. Analogiczne sytuacje mamy w przypadku dźwięku i w efekcie przy odpowiednich algorytmach możemy znacznie ograniczyć ilość bitów przeznaczonych do przekazania tej samej - a w zasadzie prawie tej samej – informacji. Jeżeli weźmiemy jako przykład muzykę i płytę CD – to 1MB danych na takiej płycie odpowiada ok 7 sekundom muzyki. Ta sama muzyka w dobrej jakości w formacie MP3 zajmie tylko ok. 80kB – czyli uzyskujemy kompresję na poziomie 13 razy. To samo możemy powiedzieć o obrazach – jedno zdjęcie 1024x768 pikseli w wersji nieskompresowanej – tzw. RAW – przy 8 bitowym próbkowaniu każdego z kolorów RGB będzie miało ok. 2,4MB – w kompresji jpg – kilkadziesiąt kilobajtów. Napisane powyżej prowadzi do jednego wniosku – chcemy przesłać szybko i dużo informacji – musimy postarać się optymalizować te informacje tak, żeby nie przysyłać elementów zbędnych (nadmiarowość) i „ocenzurować” tą informację pozbawiając ją elementów „niekoniecznych”.

### Transmisja informacji

W systemach telekomunikacyjnych przygotowaną informację należy zwykle przygotować do optymalnego przesłania jej przez kanał transmisyjny. Służy temu szeroko pojęta modulacja. Z punktu widzenia naszych rozważań – jej podstawową rolą jest jak najlepsze wykorzystanie dostępnych zasobów – kanału transmisyjnego – do przesłania jak największej ilości informacji. W przypadku modulacji cyfrowych najmniejszym „kwantem” transmisji jest pojedynczy symbol modulacji. I tu pojawia się kolejna płaszczyzna optymalizacji – tzw. wartościowość modulacji. Najprostsza modulacja pozwala w jednym symbolu przesłać tylko jeden bit – np. modulacja OOK (czyli kluczkowanie nośnej) czy BPSK albo BFSK, – powszechnie stosowane modulacje wielowartościowe umożliwiają przesłanie od 2 (np. QPSK) do nawet 8 bitów – np. 256QAM. Co więcej – zastosowanie odpowiednich formuł modulacji i standardów transmisji pozwala na optymalne wykorzystanie pasma kanału.

### Energia informacji

Przesłanie każdej informacji wymaga określonej energii. W zależności od rodzaju kanału transmisyjnego i zastosowanej modulacji przesłanie jednego bita będzie wymagało różnej energii. Ogólnie można powiedzieć, że różne modulacje mają różną sprawność energetyczną – ale też trzeba pamiętać o możliwości poprawnego odbioru informacji przez odbiornik – do jego wejścia musi trafić sygnał o odpowiedniej energii – ale to nie jest warunek wystarczający – musi być również zachowany odpowiedni stosunek sygnału użytecznego do sygnałów zakłócających. Co więcej – stosunek ten zwykle rośnie wraz z wartościowością modulacji (czyli im sprawniejsza modulacja tym wymagany wyższy stosunek sygnału do zakłóceń). To między innymi dlatego może zdarzyć się, że w jednym miejscu mimo dużego poziomu sygnału Wi-Fi mam bardzo wolną transmisję – bo w okolicy pracują inne sieci i nasz stosunek sygnał-zakłócenia jest niewielki, a gdzie indziej – słaby sygnał – transmisja dużo lepsza bo w okolicy jest „pustka elektromagnetyczna”.

I ostatni element układanki – sprawność wykorzystania energii – jaką część energii wyemitowanej przez nadajnik jest w stanie wykorzystać odbiornik. Mamy tu dwa aspekty – straty energii np. przez tłumienie toru transmisyjnego (np. kabla czy światłowodu czy też tłumienie sygnału mikrofalowego przez deszcz) oraz rozpraszanie sygnału – problem wszystkich transmisji radiowych ale też np. optycznych w swobodnej przestrzeni. Wynika to z wysyłania informacji „w eter” – o obszar znacznie większy niż potrzebny dla odbioru sygnału przez odbiorcę. Dość dobrze obrazuje to przykład stacji bazowej telefonii komórkowej. Przeanalizujmy następującą sytuację. Przyjmijmy typowy sektor stacji bazowych – z anteną o kącie połowy mocy równym  $60^\circ$  w azymucie i  $12^\circ$  z tildem  $2^\circ$  w elewacji. Przyjmijmy, że sektor ma zasięg ograniczony obszarem wyznaczonym spadkiem sygnału o połowę w azymucie i elewacji. Promień takiej komórki wyniesie ok. 400 m przy szerokości ok.  $90^\circ$  w azymucie. Powierzchnię tak zdefiniowanej komórki można oszacować na ok.  $p = 120 \text{ tys. m}^2$ . Dla uproszczenia analizy przyjmijmy, że energia potrzebna do przeprowadzenia transmisji w dowolnym punkcie komórki jest stała i opisana przez gęstość

mocy  $S_1=1 \text{ mW/m}^2$ . Ponieważ energia transmitowana jest przez antenę do całego sektora – to znaczy, że wymagana moc promieniowana opisana przez  $EIRP_1 = 120 \text{ W}$  na jedno połączenie. Jeżeli w komórce znajduje się 100 użytkowników – EIRP stacji wzrośnie do  $EIRP_{100}=12\ 000 \text{ W}$ , a gęstość mocy w dowolnym punkcie komórki do  $S_{100}=100 \text{ mW/m}^2$ . Zauważmy, że gdybyśmy byli w stanie przesłać tę energię dokładnie na obszar  $1 \text{ m}^2$  dokładnie do miejsca, gdzie stoi odbiorca – niezbędna moc EIRP wynosiła by tylko  $1 \text{ mW}$ , a poza tym „kanałem” od nadajnika do odbiornika o powierzchni  $1 \text{ m}^2$  pola elektromagnetyczne od tego systemu w ogóle by nie występowało. Oczywiście jest to ideał – ale rozpatrzmy inny przypadek, że analizowana komórka, bez zmiany pozostałych parametrów, została podzielona na 4 mniejsze – każda o takiej samej powierzchni,. W każdym z nowych sektorów wymagana gęstość mocy nadal wynosi  $S_{1n}=1 \text{ mW/m}^2$ , więc pozornie nic się nie zmienia. Zauważmy jednak, że jeżeli w obszarze starej komórki mamy tylko jednego abonenta – to energię elektromagnetyczną musimy teraz wyemitować tylko do jednego z nowych sektorów, których powierzchnia wyniesie  $p_n=30\ 000 \text{ m}^2$ , czyli wymagane  $EIRP = 30 \text{ W}$  i mimo, że w sektorze, w którym aktualnie przebywa abonent gęstość mocy jest taka sama, jak dla pojedynczej dużej komórki, to do trzech pozostałych nie jest już emitowana żadna energia PEM. Jeżeli zwiększymy liczbę abonentów do 100 rozmieszczonych równomiernie w czterech nowych sektorach – w każdym sektorze będzie trzeba zapewnić  $S_{25}=25 \text{ mW/m}^2$  a tym samym  $EIRP_{25n}=25 \cdot 30\ 000 = 750\ 000 \text{ mW} = 750 \text{ W}$ , a w efekcie  $3000 \text{ W}$  sumarycznie we wszystkich sektorach – co daje 4-krotne zmniejszenie energii emitowanej do środowiska i 4-krotne zmniejszenie gęstości mocy w miejscach gdzie przebywają abonenci. Oczywiście – jeżeli wszyscy abonenci zgromadzą się w jednej małej komórce – gęstość mocy w tej komórce będzie taka sama jak w dużej komórce przed podziałem – ale na  $\frac{3}{4}$  powierzchni starej komórki nie będzie w ogóle emisji energii elektromagnetycznej – czyli wystarczy nam  $\frac{1}{4}$  wcześniej emitowanej energii. Podsumowując w pierwszym przybliżeniu– n-krotne zmniejszenie powierzchni komórki pozwala na n-krotne zmniejszenie energii niezbędnej do zapewnienia transmisji a więc n-krotne zwiększenie „sprawności energetycznej” naszego systemu.

### **Podsumowanie**

Informacja to energia – przesłanie jakiegokolwiek informacji wymaga określonej porcji energii a zadaniem inżynierów jest optymalizacja tych systemów, żeby przesyłać informacje z możliwie małą energią i możliwie optymalnie wykorzystując dostępne zasoby – bo nie tylko energia jest tu istotna – ale również możliwości przesłania jak największej ilości informacji w możliwie najkrótszym czasie. Należy podkreślić, że mamy tu do czynienia z synergią ilości informacji i energii – ale w warunkach rzeczywistych zwiększanie energii nie zawsze przyniesie efekt w postaci oczekiwanego zwiększenia możliwej do przesłania ilości informacji – bo pamiętać musimy o stosunku energii sygnału użytkowego do zakłóceń. Warto z pewnością skierować działania w stronę optymalnego wykorzystania emitowanej energii – zwłaszcza w radiokomunikacji – a ku temu zmierza np. „prawdziwa” technologia 5G z dużą liczbą małych komórek i systemy anten pozwalających na podążanie z wiązką za wybranym użytkownikiem.

# ZIARNISTE NANOKOMPOZYTY METAL-DIELEKTRYK ALTERNATYWĄ DLA KOMPONENTÓW SMD

Oleksandr BOIKO

Politechnika Lubelska, Lublin

## Wstęp

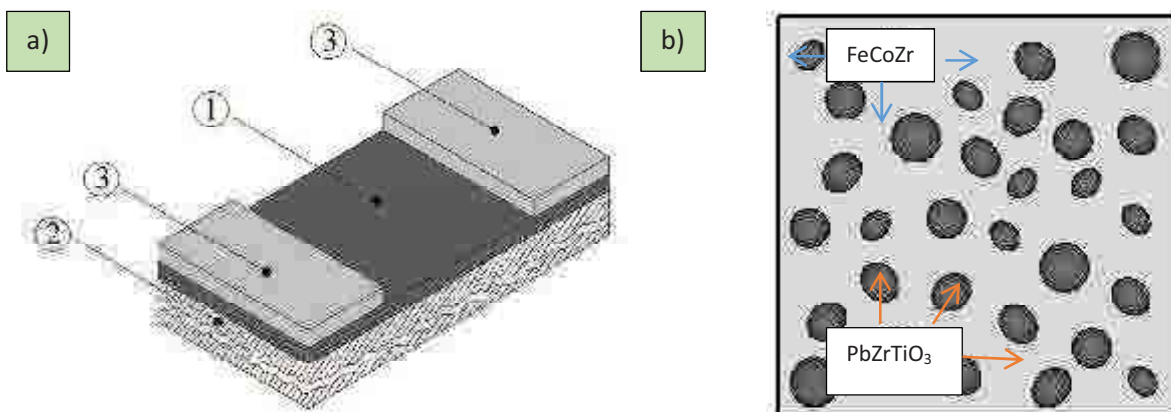
Obecnie możemy obserwować dynamiczny rozwój pasywnych elementów układów elektronicznych na poszczególnych poziomach stosowanej skali. W przypadku układów makroskopowych najczęściej spotykanymi elementami z danej grupy są rezystory, termistory, kondensatory, cewki, dławiki oraz filtry przeciwzakłóceń w wykonaniu technologii SMT (Surface Mount Technology) i THT (Through-Hole Technology). Wraz ze zmniejszeniem rozmiarów elementów do skali mikro lub nano technologia SMT zaczyna swoją dominację. Do największych zalet danej technologii możemy zaliczyć: miniaturyzację komponentów, umiejscowienie dużej liczby komponentów oraz ich połączeń na małej przestrzeni roboczej, lepsza odporność na oddziaływania mechaniczne (wibracje, wstrząsy), mały koszt produkcji, dobra odporność na zakłócenia elektromagnetyczne.

Jednak pomimo tak dużej liczby przewag SMT posiada również kilka kluczowych wad, nad usunięciem których pracują inżynierowie z całego świata. Do nich możemy zaliczyć: komplikację sposobu wytwarzania elementów wielowarstwowych (cewek, kondensatorów) poprzez ich złożoną konstrukcję (rys.1); ograniczenie w zastosowaniu komponentów SMD (Surface Mount Device) w ekstremalnie niskich temperaturach; przegrzewanie się układów elektronicznych, spowodowane zbyt dużym zagęszczeniem elementów SMD na powierzchni roboczej płyt PCB.

Celem niniejszej pracy jest przedstawienie wyników badań właściwości elektrycznych nowoczesnych materiałów cienkowarstwowych, produkcja których pozwala eliminować wyżej wymienione problemy technologiczne. Do takich materiałów należą ziarniste nanokompozyty o strukturze  $(\text{FeCoZr})_x(\text{PbZrTiO}_3)_{100-x}$ , będące obiektami niniejszych badań.

## Wytwarzanie nanokompozytów

Do wytwarzania ziarnistych nanokompozytów  $(\text{FeCoZr})_x(\text{PbZrTiO}_3)_{100-x}$  (rys. 1.), gdzie  $x$  jest zawartością fazy metalicznej, zastosowano metodę rozpylania jonowego [1]. W komorze próżniowej umieszczono płytkę z czystego stopu FeCoZr do której przymocowano paski z dielektryka PbZrTiO<sub>3</sub>. Konstrukcja ta jest bombardowana jonami argonu i tlenu po czym z jej powierzchni wybijane są atomy lub klastry komponentów, które osadzają się na dielektrycznym podłożu (2). W taki sposób uzyskuje się warstwę nanokompozytu (1) o strukturze fazowej metal-dielektryk.



**Rysunek 1.** Zobrazowanie ideowe: a) kształtu próbki nanokompozytu  $(\text{FeCoZr})_x(\text{PbZrTiO}_3)_{100-x}$ , gdzie 1 – warstwa nanokompozytu, 2 – podłoże dielektryczne, 3 – pasta srebrna, oraz b) ziarnistej struktury warstwy (1)

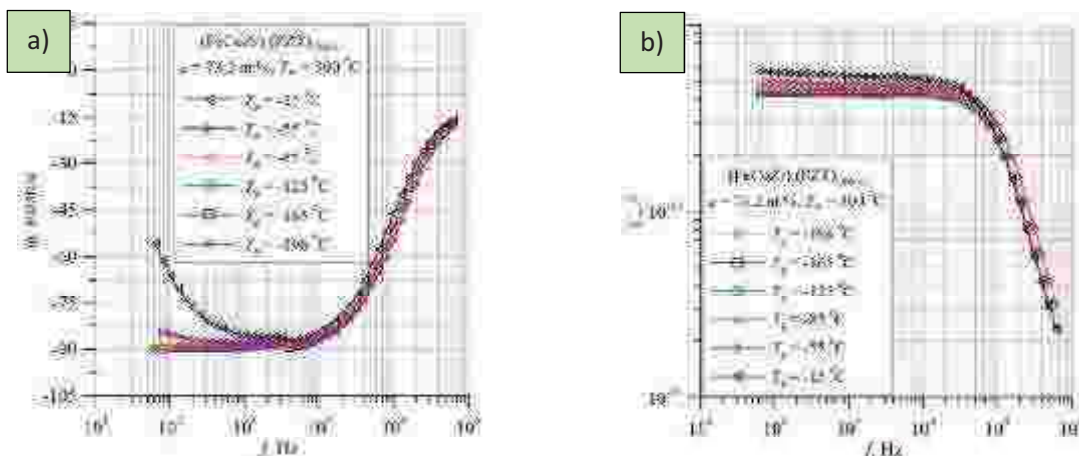
Strukturę fazową próbki idealnie przedstawiono na rysunku 1.b. Warstwa uzyskanego materiału zawiera nanocząstki (o średnicy 3–7 nm) FeCoZr lub ich skupiska (duże i małe ziarna w ciemnym kolorze) losowo rozmieszczone w matrycy PbZrTiO<sub>3</sub> (szare tło pomiędzy ziarnami). Podczas jednego cyklu technologicznego można uzyskać nanokompozyty o zawartości fazy metalicznej z przedziału 20 at.% ÷ 90 at.%.

### Określenie parametrów elektrycznych

Do określenia zmiennoprądowych parametrów elektrycznych (rezystancji, pojemności, kąta przesunięcia fazowego, oraz współczynnika strat dielektrycznych) warstw (FeCoZr)<sub>x</sub>(PbZrTiO<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub> wykorzystano metodę spektroskopii impedancyjnej [2]. Parametry elektryczne zostały zmierzone dla próbek w temperaturach -263 °C ÷ 100 °C, w zakresie częstotliwości pomiarowych 50 Hz – 5 MHz. W celu zbadania stabilności termicznej próbki były poddawane 15-minutowemu wygrzewaniu izochronicznemu w powietrzu w temperaturach z zakresu 125 °C ÷ 600 °C.

### Wybrane charakterystyki częstotliwościowe

Na rysunku 2 przedstawiono kąt przesunięcia fazowego  $\varphi$  (2.a) oraz pojemność  $C$  (2.b) w funkcji częstotliwości pomiarowej  $f$  zmierzonych dla wybranych temperatur. Z rysunku można zaobserwować stabilność charakterystyki  $\varphi(f)$  na poziomie  $\varphi = -90^\circ$  w przedziale częstotliwości  $50 < f \leq 10^4$  Hz dla temperatur  $T_p \leq -55^\circ\text{C}$ . Dopiero po przekroczeniu częstotliwości  $f = 10^4$  Hz wartość  $\varphi$  wzrasta wraz ze wzrostem częstotliwości  $f$ .



**Rysunek 2.** Zależności częstotliwościowe: a) kąta przesunięcia fazowego oraz b) pojemności nanokompozytu (FeCoZr)<sub>x</sub>(PbZrTiO<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub> poddanej obróbce termicznej w temperaturze  $T_w = 300^\circ\text{C}$

Podobna sytuacja widoczna jest na rysunku 2.b, gdzie pojemność  $C$  jest ustabilizowana na poziomie  $5 \times 10^{-10}$  F dla  $f \leq 10^4$  Hz oraz obniża się wraz ze wzrostem  $f$ . Świadczy to o możliwości stosowania ziarnistych nanokompozytów typu metal-dielektryk jako elementy SMD w temperaturach poniżej  $T_p \leq -55^\circ\text{C}$ . Poza tym, wcześniejsze badania pokazały, że w zależności od stosunku fazy metalicznej do dielektrycznej  $x$ , nanokompozyty (FeCoZr)<sub>x</sub>(PbZrTiO<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub>, mogą zastąpić niektóre połączenia konwencjonalnych elementów elektronicznych w układach szeregowych lub równoległych [3].

### Literatura

- [1] Boiko O., et. al.: The effect of sputtering atmosphere parameters on dielectric properties of the ferromagnetic alloy – ferroelectric ceramics nanocomposite (FeCoZr)<sub>x</sub>(PbZrTiO<sub>3</sub>)<sub>100-x</sub>, Ceram. Int., vol. 43, pp. 2511-2516, Feb. 2017.
- [2] Koltunowicz T.N.: Test Station for Frequency-Domain Dielectric Spectroscopy of Nanocomposites and Semiconductors, J. Appl. Spectrosc., vol. 82, no. 4, pp. 653-658, Sep. 2015.
- [3] Boiko O.: Dielectric properties of metallic alloy FeCoZr-dielectric ceramic PZT nanostructures prepared by ion sputtering in vacuum conditions, IOP Conference Series : Materials Science and Engineering, vol. 369, no. 012016, 2018.



# UŻYCIE MATRYCY KSZTAŁTUJĄCEJ W PROCESIE ELEKTRODYNAMICZNEGO FORMOWANIA WSADÓW RUROWYCH

**Borys BOROWIK**

Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki,  
Katedra Technologii i Automatykacji, Częstochowa

## Wstęp

W przypadku formowania wsadów rurowych mamy możliwość zastosowania formowania swobodnego, formowania z użyciem matrycy dielektrycznej lub matrycy przewodzącej. W praktyce formowania swobodnego nie stosuje się, gdyż powoduje to najczęściej deformację wsadu. Dlatego używa się matryc kształtujących. W matrycy przewodzącej zachodzą podobne zjawiska jak w formowanym wsadzie.

## Zastosowanie matrycy kształtującej

Pole magnetyczne i elektryczne w obszarze matrycy oblicza się w podobny sposób jak w formowanym wsadzie.

$$\overline{H}_z^I(r,s) = \underline{A}_6 I_0(\sqrt{s} \sqrt{\mu_1 \gamma_1} r) + \underline{A}_7 K_0(\sqrt{s} \sqrt{\mu_1 \gamma_1} r), \quad \overline{E}_\theta^I(r,s) = -\frac{\sqrt{s} \sqrt{\mu_1 \gamma_1}}{\gamma_1} \underline{A}_6 I_1(\sqrt{s} \sqrt{\mu_1 \gamma_1} r)$$

Stałe całkowania  $\underline{A}_6$  i  $\underline{A}_7$  wyznaczamy z klasycznych warunków ciągłości pola elektromagnetycznego na powierzchniach granicznych. Natężenie pola magnetycznego w tym obszarze można przedstawić w postaci:

$$\overline{H}_z^I(r,s) = \frac{n(s)}{d(s)} \underline{H}_0$$

gdzie

$$n(s) = 2 \left[ \begin{array}{l} I_1(\sqrt{s} \sqrt{\mu \gamma} R_1) K_0(\sqrt{s} \sqrt{\mu \gamma} R_1) + \\ I_0(\sqrt{s} \sqrt{\mu \gamma} R_1) K_1(\sqrt{s} \sqrt{\mu \gamma} R_1) \end{array} \right] I_0(\sqrt{s} \sqrt{\mu_1 \gamma_1} R) D_1(s)$$

Do obliczenia oryginału  $\underline{H}_z^I(r,t)$  funkcji operatorowej  $\overline{H}_z^I(r,s)$  można wykorzystać twierdzenie o rozkładzie otrzymując pole magnetyczne

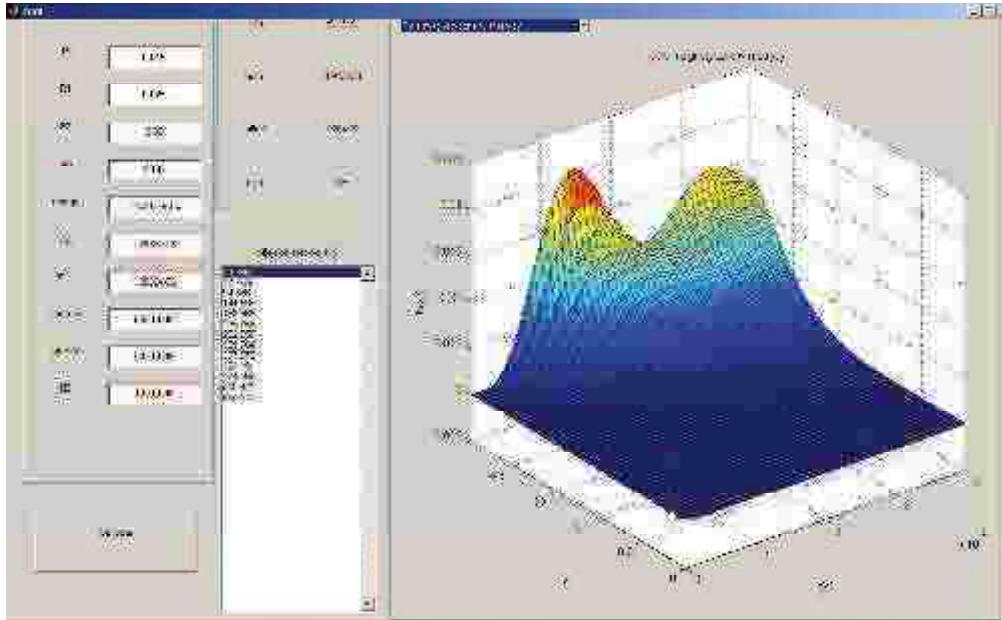
$$\underline{H}_z^I(r,t) = L^{-1} \left\{ \overline{H}_z^I(r,s) \right\} = \left\{ \frac{n(s_0)}{d'(s_0)} e^{s_0 t} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{n(s_n)}{d'(s_n)} e^{s_n t} \right\} \underline{H}_0$$

skąd wynika, że do jego wyznaczenia należy obliczyć miejsca zerowe funkcji  $d(s)$ . Procedura obliczania tych miejsc zerowych jest taka sama jak dla wsadu rurowego, zaś obliczenia wykonujemy wykorzystując program MatLab. Wtedy też funkcja zespolona wartości chwilowej natężenie pola magnetycznego w obszarze matrycy ma postać:

$$H_z^l(r,t) = \text{Im}\{\underline{H}_z^l(r,t)\} = \left[ H_{z,0}^l(r,t) + \sum_{n=1}^{\infty} H_{z,n}^l(r,t) \right] \mathbf{1}(t), \text{ gdzie: } H_{z,0}^l(r,t) = \text{Im}\{\underline{H}_{z,0}^l(r,t)\} \text{ oraz}$$

$$H_{z,n}^l(r,t) = \text{Im}\{\underline{H}_{z,n}^l(r,t)\}.$$

Rozkład pola magnetycznego w przewodzącej matrycy możemy wizualizować za pomocą interfejsu użytkownika napisanego w programie Matlab.



**Rys 1.** Rozkład czasowo- przestrzenny pola magnetycznego w matrycy przewodzącej,  $R=0.015 \text{ m}$ ,  $R_1=0.028 \text{ m}$ ,  $R_2=0.03 \text{ m}$ ,  $\omega = \pi \cdot 10^4 \text{ rad} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\eta = 5 \cdot 10^3 \text{ s}^{-1}$ ,  $\gamma = 58 \cdot 10^6 \text{ S} \cdot \text{m}^{-1}$

### Wnioski

Pole magnetyczne w przewodzącej matrycy pojawia się przede wszystkim w przypadku wsadów cienkościennych (przy dużych wartościach  $\beta$ ). W pozostałych przypadkach pole zostaje całkowicie wytłumione we wsadzie. Podobnie jak dla wsadu, pole w matrycy zależy od wymiarów matrycy określonych przez parametr  $\alpha_m$ , oraz jej konduktywności.

Z praktyki wynika, że stosowanie matryc kształtujących jest konieczne, aby uniknąć deformacji wsadu rurowego.

### Literatura

- [1] Dobrogowski J., Kołaczkowski Z., Tychowski F., Tłoczenie metali impulsowym polem magnetycznym, PWN, Warszawa Poznań 1979
- [2] Batygin Y., Daehn., The pulse magnetic fields for progressive technologies. Ohio State University., Kharkov – Columbus 1999
- [3] Bednarczyk J., Elektrodynamiczna obróbka metali, Wydawnictwa AGH, Kraków 2007
- [4] Bednarczyk J., Distributions of forces in the inductors used in metal processing in the pulse magnetic field, Journal of Materials Processing Technology, 133(2003), pp.340-347
- [5] Borowik B., Ściskanie wsadów rurowych w procesie elektrodynamicznego formowania metali – analiza numeryczna, Przegląd Elektrotechniczny., 12/2015 pp. 56-58
- [6] Piątek Z., Borowik B., Electromagnetic field In a cylindrical conductor in the process of metal forming using impulse magnetic field., XXVII IC SPETO, 2005 pp. 43-46
- [7] Tegopoulos J. Kriezis E., Eddy Currents in Linear Conducting Media. Elsevier., New York 1985

- [8] Borowik B., Gęstość prądu wewnątrz przewodzącego wsadu rurowego z matrycą przewodzącą w procesie kształtowania impulsowym polem magnetycznym, *Przegląd Elektrotechniczny*, 08/2011 pp. 264-268
- [9] Borowik B., Zastosowanie zmodyfikowanej metody Monte Carlo do obliczenia mocy strat cieplnych w przewodzącym wsadzie rurowym formowanym elektrodynamicznie., *Przegląd Elektrotechniczny*, 01/2017 pp. 249-252
- [10] Borowik B., Odkształcenie wsadów rurowych wybranych materiałów w procesie elektrodynamicznego formowania metali, *Przegląd Elektrotechniczny.*, 12b/2011 pp. 19-21
- [11] Borowik B., Wizualizacja procesów fizycznych w procesie elektrycznego ściskania metali, *Przegląd Elektrotechniczny.*, 3/2018 pp. 147-150

# SMARTEIT TOMOGRAPH FOR DATA ANALYSIS USING ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Piotr BOŹEK<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>2</sup>, Michał OLESZEK<sup>2</sup>, Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology, Lublin

<sup>4</sup>Institute of Philosophy and Sociology of the Polish Academy of Sciences, Warszawa

## Introduction

Electrical tomography provides a non-invasive technique and non-destructive technique, in contrast to many others (like chemical methods) for measuring different kinds of objects and problems. In this method, a power or voltage source is connected to the object, and then a current distribution or voltage distribution on the edge of the object is observed. The collected information is processed by an algorithm that reconstructs the image.

The article presents another version of the prototype design of the SmartEIT measuring device based on the Raspberry Pi platform using electric impedance tomography. The measurement with the device consists in placing electrodes on the tested object, two electrodes are connected to alternating current, and the voltage drop is measured on the others. SmartEIT enables measurements on 16 electrodes. The electrodes can be made of copper without a shield or covered with conductive rubber, depending on the tested object.

## SmartEIT device

The device enables visual measurements on 16 electrodes. Thanks to the use of a highly efficient converter increasing the DC / DC voltage, it has a voltage of 30 V<sub>pp</sub> necessary to force the current flow in high impedance facilities, even though it is powered directly from the Raspberry Platform (5 V). A set of passive electrodes is needed to perform the measurements.

A new display was introduced, which also does not take up so many GPIO pins. They remain fully usable for communication with the measuring module. The display is connected by FPC tape via DSI port and two power pins.



Fig. 1. Measurement system with display

The created application allows you to start measurements, set measurement parameters and power management. The interface consists of three tabs with the possibility of rapid expansion if it proves necessary. The application uses elements of the Kivy library such as: multi-window support, pop-up windows, buttons, sliders, graphics implementation, etc. The interface works smoothly and in combination with the Raspberry 7 "screen with capacitive touch provides convenient operation.



Fig. 2. System configuration

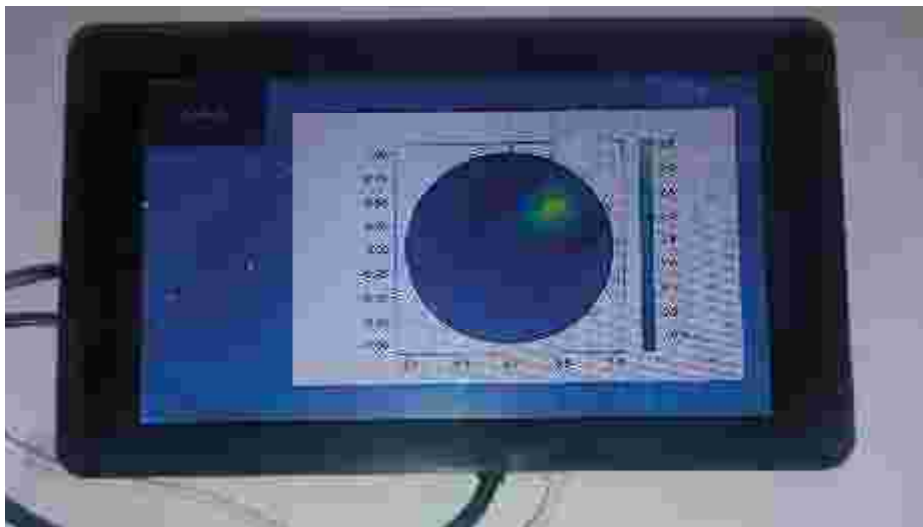


Fig. 3. Image reconstruction by EIT

## References

- [1] Bozek P., Rymarczyk T., Oleszek M., Adamkiewicz P., Prototype of miniature electrical impedance tomograph SmartEIT cooperating with raspberry Pi platform 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine, PTZE 2019, 2019, 17-21.
- [2] Beck M. S., Byars M., Dyakowski T., Waterfall R., He R., Wang S. J., Yang W. Q., Principles and Industrial Applications of Electrical Capacitance Tomography, Measurement and Control, September, 30 (1997), No. 7.
- [3] Wajman R., Fiderek P., Fidos H., Sankowski D., Banasiak R., Metrological evaluation of a 3D electrical capacitance tomography measurement system for two-phase flow fraction determination, Measurement Science and Technology, 24 (2013), No. 6, 065302.

- [4] Dušek J., Hladký D., Mikulka J., Electrical Impedance Tomography Methods and Algorithms Processed with a GPU, In PIERS Proceedings, 2017, 1710-1714.
- [5] Ren S., Soleimani M., Xu Y., Dong F., Inclusion boundary reconstruction and sensitivity analysis in electrical impedance tomography, *Inverse Problems in Science and Engineering*, 26 (2018), No. 7, 1037-1061.
- [6] Borcea L, Electrical impedance tomography, *Inverse Problems*, 18 (2002), 99–136.
- [7] Holder D., Introduction to biomedical electrical impedance tomography *Electrical Impedance Tomography Methods, History and Applications*, Bristol, Institute of Physics, 2005.
- [8] Wang M., *Industrial Tomography: Systems and Applications*, Elsevier, 2015.

# WYKORZYSTANIE ELEMENTÓW TEORII ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH W ANALIZIE ROTACYJNEJ TRANSMISJI RUCHU Z DŁUGIM SPRĘŻYSTYM WAŁEM

Andriy CHABAN<sup>1</sup>, Marek LIS<sup>2</sup>, Radosław JEDYNAK<sup>1</sup>, Andrzej SZAFRANIEC<sup>1</sup>

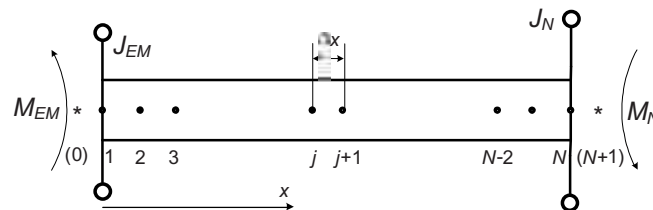
<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

## Wprowadzenie

W artykule wykorzystano elementy teorii algorytmów genetycznych do modelowania procesów oscylacyjnych w skomplikowanej transmisji ruchu napędów elektrycznych, które zawierają długie elementy sprężyste o rozproszonych parametrach mechanicznych. Za pomocą wymienionej teorii zaprosymowano podstawowe funkcje analitycznej mechaniki ośrodków ciągłych: prędkości oraz kąty obrotowe końców wału. Ważnym zagadnieniem jest transmisja ruchu, która zawiera długie wały. Takie układy występują w przypadkach, gdy mechanizmy obciążenia są umieszczone w dużej odległości od silnika napędowego, co jest najczęściej związane z wymogami procesu technologicznego. Dotyczy to w szczególności napędu: pionowych pomp wodnych wielkiej mocy, turbozespołów, podnośników dźwigów, walcarek, koparek itp. Ponieważ transmisja ruchu jest jednym z głównych czynników prawidłowej i efektywnej pracy napędu, to koniecznie należy uwzględnić procesy dynamiczne w wałach [1, 2, 3].

**Model matematyczny sprężysto-dyssypacyjnego długiego wału o parametrach rozłożonych** opracowano na podstawie interdyscyplinarnej metody modelowania, która opiera się na modyfikacji integralnej wariacyjnej zasady Hamiltona-Ostrogradskiego drogą rozszerzenia funkcji Lagrange'a dwoma składnikami: energia sił dyssypacji oraz energia zewnętrznych niepotencjalnych sił [2]. Na tej podstawie analizuje się procesy oscylacyjne w jednostkach próbkowania (dyskretyzacji) kontinuum wału. Wał łączy silnik napędowy z układem obciążenia, rys.1.



Rys. 1. Transmisja ruchu napędu elektrycznego

Równanie układu oraz warunki brzegowe analizowanego układu są następujące:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\xi}{\rho J_p} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial x^2 \partial t}; \quad (1)$$

$$J_{EM} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \Big|_{x=0} - G J_p \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x=0} - \xi \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial t} \Big|_{x=0} = M_{EM}, \quad J_N \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} \Big|_{x=l} + G J_p \frac{\partial \varphi}{\partial x} \Big|_{x=l} + \xi \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial t} \Big|_{x=l} = M_N, \quad (2)$$

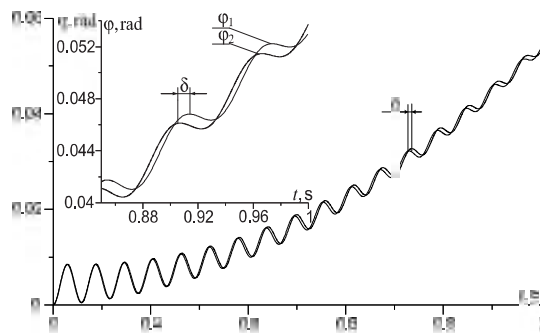
gdzie:  $\varphi(x, t)$  – kąt obrotu wału,  $M_{EM}$  – moment elektromagnetyczny silnika,  $M_N$  – moment obciążenia,  $N$  – liczba węzłów próbkowania (dyskretyzacji),  $\rho$ ,  $J_p$ ,  $G$ ,  $\xi$ ,  $J_{EM}$ ,  $J_N$ ,  $a^2$  – parametry wału.

Rozwiązanie równań (1) – (2) jest sprawą dość skomplikowaną. Wykorzystanie modelu dwumasowego zastępczego elastycznego wału nie daje dostatecznej adekwatności procesu (patrz rys. 3). Dlatego proponujemy wykorzystać dwa podejścia: zastosowanie metody najmniejszych kwadratów oraz teorii algorytmów genetycznych. Równania (1) – (2) w pracy niniejszej całkowane są przez iteracyjną metodę prostych.

**Algorytm ewolucyjny aproksymujący prędkość kątową długiego wału.** W przypadku metody najmniejszych kwadratów wykorzystujemy dwa sposoby: metodę Gaussa-Newtona oraz iteracyjną Levenberga-Marquardta. Niestety, wykorzystanie wymienionych metod w ogólnym przypadku nie dało prawidłowego rozwiązania, co związane jest z bardzo dużym rzędem układu równań. Pozostaje więc wykorzystanie teorii algorytmów genetycznych. Algorytm genetyczny (GA), w naszym przypadku algorytm ewolucyjny (EA), umożliwia rozwiązanie wielu złożonych problemów gdzie nie jest dobrze określony lub poznany sposób rozwiązania problemu, ale znany jest sposób oceny jakości rozwiązania. W naszej optymalizacji wykorzystujemy metaheurystykę, która próbuje naśladować proces ewolucji [4]. Uzyskany model (EA) praktycznie na maksymalnym poziomie adekwatności opisał rzeczywiste procesy w kontinuum wału transmisji ruchu. Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy modelu (EA) transmisji ruchu napędu.



Rys. 2. Schemat blokowy algorytmu genetycznego



Rys. 3. Chwilowy kąt obrotu lewego końca wału  $t \in [0; 1]$  s,  $t \in [0,85; 1]$  s

Na rysunku 3 przedstawiono przebiegi kąta obrotu lewego końca stron wału w przedziale czasowym  $t \in [0; 1]$  gdzie:  $\varphi_1(t)$  – kąt obrotu otrzymany na podstawie modelu dwumasowego, a  $\varphi_2(t)$  – kąt obrotu otrzymany na podstawie modelu (EA). Przebieg kąta  $\varphi_2(t)$  jest praktycznie zbieżny z przebiegiem, uzyskanym na podstawie całkowania równań (1) – (2). Na rysunku 2 występuje kąt czasowego opóźnienia  $\delta$ . Interpretacja fizyczna tego procesu jest znana. Fala mechaniczna podczas ruchu wzdłuż wału wprowadza efekt opóźniania. Wykorzystanie algorytmu genetycznego ma bardzo szerokie perspektywy w układach o parametrach rozłożonych.

## Wnioski

Wykorzystanie teorii algorytmów genetycznych otwiera perspektywy zastosowania ich w rzeczywistych układach elektrotechniki stosowanej, gdy analizowane są napędy elektryczne o złożonej transmisji ruchu zawierające elementy sprężyste.

Wykorzystanie algorytmu genetycznego do aproksymowania funkcji prędkości i kąta obrotu końców wału pozwala na wyznaczenie tych parametrów z błędem aproksymacji rzędu ok.  $10^{-4}$ , co potwierdza możliwość wykorzystania opracowanego modelu długiego wału w precyzyjnych stanach pracy napędów elektrycznych, zawierających długie elementy sprężyste o parametrach rozproszonych.



## Literatura

- [1] Chen W., Liang J., Shi T., Speed Synchronous Control of Multiple Permanent Magnet Synchronous Motors Based on an Improved Cross-Coupling Structure. *Energies* 2018, 11(2), 282
- [2] Chaban A., Principle Gamiltona-Ostrogradskogo in elektromechanichnih systems. Lviv, 2015, 488
- [3] Lis M., Szafraniec A., Analiza procesów nieustalonych w układzie napędowym z pompami pionowymi o podatnej transmisji ruchu. *Przegląd Elektrotechniczny*, 8/2019, 21-24
- [4] Jedynek R., A comprehensive study of the mathematical methods used for approximation of the inverse Langevin function, *Mathematics and Mechanics of Solids*, 24, 2019, 1992-2016.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# MODELOWANIE MATEMATYCZNE PROCESÓW NIEUSTALONYCH W ZAWIESZENIU MAGNETYCZNYM POCIĄGU TYPU MAGLEV

Andriy CHABAN<sup>1</sup>, Zbigniew ŁUKASIK<sup>1</sup>, Marek LIS<sup>2</sup>, Andrzej SZAFRANIEC<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu,  
Wydział Transportu, Elektrotechniki i Informatyki

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

## Wprowadzenie

W ostatnich stuleciach pociągi były modyfikowane w zależności od typu zastosowanych silników napędowych: parowego, Diesla i elektrycznego. Nowoczesnym rozwiązaniem jest pociąg elektryczny na poduszce magnetycznej typu MAGLEV. Istnieje kilka sposobów osiągnięcia stabilnego magnetycznego zawieszenia. Najbardziej perspektywiczne jest wykorzystanie przyrodniej lewitacji magnetycznej z efektem dziury potencjalnej [1]. Idea tej metody lewitacji polega w wykorzystaniu idealnej przewodności materiałów nadprzewodzących. Podstawowym warunkiem do osiągnięcia zjawiska nadprzewodnictwa jest stworzenie systemu niskich temperatur (około 4° K), co wymaga zastosowania kosztownej instalacji kriogenicznej. Wraz z rozwojem nowoczesnych nanotechnologii powstają możliwości uzyskania nowych materiałów, dla których zjawisko nadprzewodnictwa występuje dla stosunkowo wysokich temperatur – tzw. wysokotemperaturowe nadprzewodnictwo, które po raz pierwszy zostało opisane w [2].

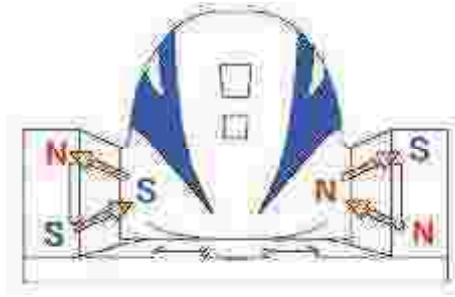
W pracy niniejszej zjawisko magnetycznej dziury potencjalnej przyjmuje się, jako a priori istniejące. Innymi słowami problem zachowania statyczności (stabilności) systemu nie jest analizowany w tym artykule. **Główny cel pracy** polega w analizie elektromechanicznego przetwarzania energii w układzie lewitacyjnym na przykładzie uproszczonego schematu części siłowej zawieszenia pociągu na poduszce magnetycznej typu Japan JR Maglev [3], patrz rys. 1.

## Efekt magnetycznej dziury potencjalnej

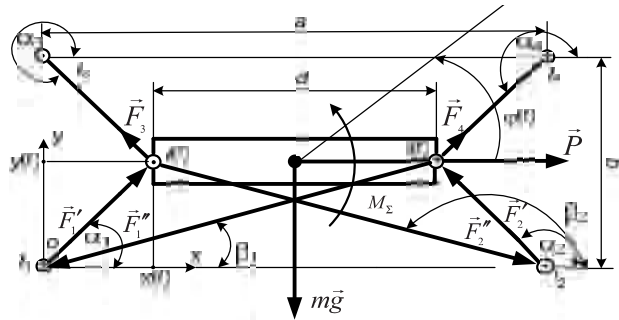
Zasady fizyczne i matematyczne tego zjawiska są dość skomplikowane i przedstawione w monografii [1]. W pracy niniejszej wprowadzamy bardzo uproszczoną ogólną ideę efektu dziury potencjalnej. Jeżeli w scalonym badanym materiale jest dominujący efekt diamagnetyczny nad efektem nadprzewodzącym, to w pierścieniu (można go traktować, jako obwód elektryczny z uwzględnieniem masy pierścienia) dominuje efekt nadprzewodzący nad efektem diamagnetycznym.

## Model matematyczny układu Maglev

Na rysunku 2 przedstawiono uproszczony schemat obliczeniowy układu. Model matematyczny transmisji pociągu wyznaczamy na podstawie zmodyfikowanej integralnej wariacyjnej zasady Hamiltona-Ostrogradskiego [4].



**Rys. 1.** Szkic pociągu na poduszce Magnetycznej typu Japan JR Maglev



**Rys. 2.** Schemat obliczeniowy lewitacyjnego układu elektromechanicznego

Wyznaczamy równanie zamrożenia strumienia skojarzonego dla nadprzewodzących obwodów. Zakładając, że rozpatrywany obwód elektryczny nie zawiera SEM oraz rezystancja jego jest równa zero, to równanie obwodu elektrycznego w polu magnetycznym w naszym przypadku istotnie upraszcza się (obwód przyjmujemy, jako pierścień) [1]:

$$\frac{d\Psi(i)}{dt} = u(t) - Ri, \quad u(t) \equiv 0, \quad R = 0, \text{ skąd: } \Psi(i) = \text{const} \quad (1)$$

tutaj  $\Psi(i)$  – strumień skojarzony przez pierścień,  $i$  – prąd w pierścieniu,  $R$  – oporność obwodu,  $u(t)$  – napięcie zasilania pierścienia.

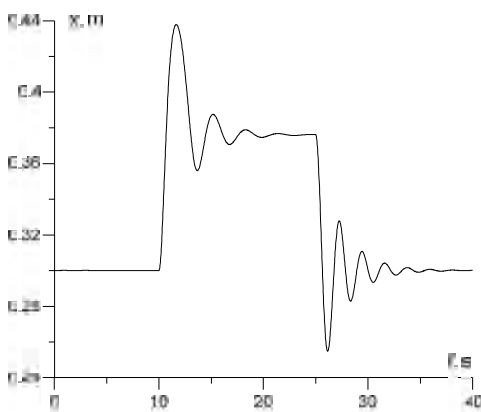
Na podstawie rysunku 2 równania ruchu prototypu pociągu są następujące:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{1}{m} \left( P - F_1 \cos \alpha_1 - F_2 \cos \alpha_2 + F_3 \cos \alpha_3 + F_4 \cos \alpha_4 - v_x v_x \right), \quad \frac{dx}{dt} = v_x; \quad (2)$$

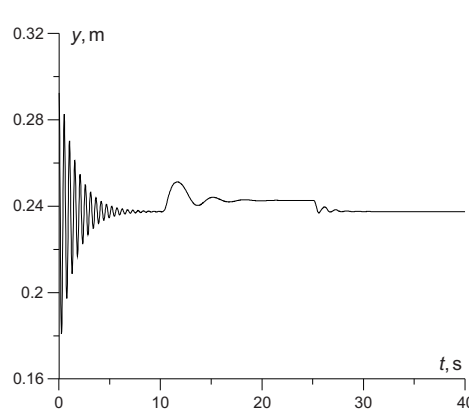
$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{1}{m} \left( -F_1 \sin \alpha_1 - F_2 \sin \alpha_2 + F_3 \sin \alpha_3 + F_4 \sin \alpha_4 - v_y v_y \right) - g, \quad \frac{dy}{dt} = v_y. \quad (3)$$

**Wyniki symulacji komputerowej.** Analizujemy prototyp pociągu na poduszce magnetycznej. Część siłowa pociągu zamodelowana jest, jako uproszczony schemat pracy pociągu typu Japan JR Maglev. Eksperyment prowadzimy w sposób następujący. Siłownikami został podniesiony pociąg na odpowiednią wysokość w taki sposób, aby zajmować centralno-symetryczne położenie względem głównych prądoprzewodów, patrz rys. 1, 2.

Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przesunięcie pociągu względem współrzędnych  $x$  i  $y$ .



**Rys. 3.** Przesunięcie pociągu względem współrzędnej  $x$



**Rys. 4.** Przesunięcie pociągu względem współrzędnej  $y$

### **Wnioski**

Wykorzystanie zjawiska przyrodniej statycznej lewitacji (potencjalna dziura magnetyczna) w budowaniu zawieszenia magnetycznego w pociągach Maglev otwiera perspektywy wykorzystania wymienionego zjawiska w przemyśle kolejowym. Do stabilizacji oscylacji ruchu układu zarówno jak w osi poprzecznej, jak i wzdłużnej mogą być wykorzystane obwody elektryczne zawierające duże wartości rezystancji, które są tłumikami oscylacyjnymi procesów występujących podczas eksploatacji pociągu Maglev.

### **Literatura**

- [1] Michalewicz V, Kozoriz V., Raszkowan V., Magnetyczna dziura potencjalna – efekt stabilizacji nadprzewodzących układów dynamicznych, Kyjiw, Naukowa dumka, 1991, 336.
- [2] Bednorz J. G., Müller K. A., Possible high  $T_c$  superconductivity in the Ba–La–Cu–O system, Zeitschrift für Physik B Condensed Matter, Springer-Verlag volume 64, 1986, 189 – 193.
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/SCMaglev>
- [4] Chaban A., Principle Gamiltona-Ostrogradskogo in elektromechanichnih systems. Lviv, 2015, 488

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# ELECTRICAL PROPERTIES OF CLATHRATE FORMED ON THE BASIS OF A P-TYPE SEMICONDUCTOR WITH 2D GUEST POSITIONS FILLED WITH FERROELECTRIC AND PROPOLIS

Piotr CHABECKI<sup>1</sup>, Dariusz CAŁUS<sup>1</sup>, Fedir IVASHCHYSHYN<sup>1,2</sup>, Vitalii MAKSYMCH<sup>2</sup>, Ihor BORDUN<sup>1,2</sup>, Anatolii BORYSYUK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska,

<sup>2</sup> Lviv Polytechnic National University

## Introduction

The formation of heterostructured inorganic/inorganic, inorganic/organic, and bio/inorganic clathrate compounds is attracting more and more attention of experts in all science domains. With an interest in clathrates, an issue of a size effect in such compounds, for example, the ferroelectric polarization behavior (the existence of a critical size of ferroelectric domains and a change in the Curie temperature) was brought to the foreground.

## Experimental

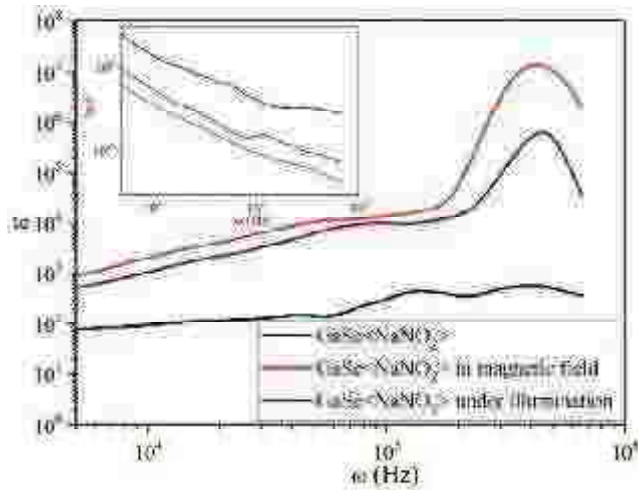
A photosensitive single crystal gallium selenide (GaSe) was selected as a semiconductor quasi-directional matrix; sodium nitrite and propolis, a product collected by bees – as a ferroelectric component and organic semiconductor.

## Results and Discussion

This paper was aimed to examine the properties of clathrate  $GaSe\langle NaNO_2 + Propolis \rangle$  with the bi-intercalated guest component. The purpose of this approach was to combine the properties of ferroelectric and biologically active organic semiconductors –  $NaNO_2$  and propolis, respectively. Under this approach, such components, when placed into an inorganic semiconductor matrix with quasi-two-dimensional guest positions, were expected to yield characterizing properties of the formed structure.

The frequency behavior of permittivity shown in Figure 1 was analyzed. For practical use of received results, the dependence  $\varepsilon(\omega)$  is of interest in the frequency range where an electric loss tangent ( $tg\delta(\omega)$ ) is less than 1 (insert to Fig. 1). Fig. 1 and its insert show that  $\varepsilon$  starts to behave unusually once the following condition  $tg\delta < 1$  is met. Huge photo- and magneto-capacitive effects in the high-frequency range –  $\varepsilon_L/\varepsilon_D \approx 2000$ ,  $\varepsilon_H/\varepsilon_0 \approx 40000$  are attractive from the practical point of view. This structure acts like an ultra-sensitive capacitive sensor of the constant magnetic field and light and can be used for the manufacture of highly capacitive photo- and magneto-varicaps.

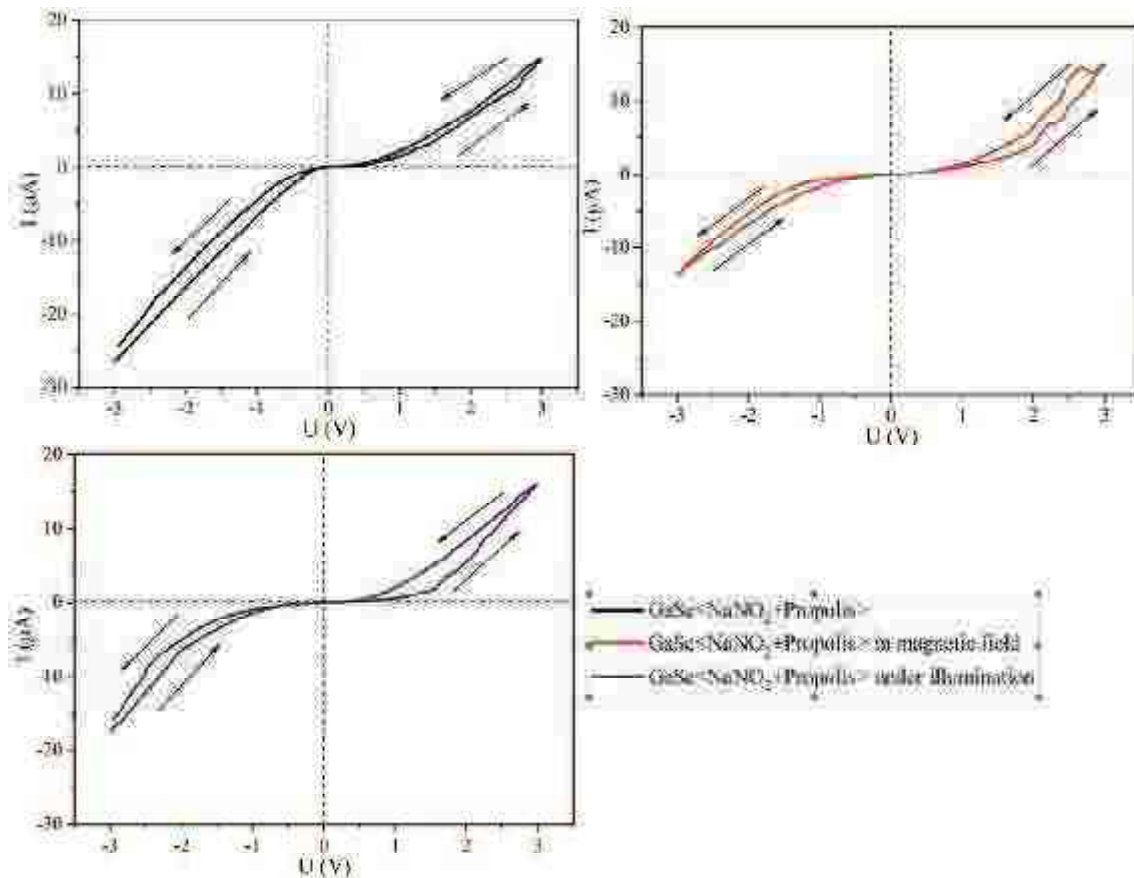
An appreciable increase in  $\varepsilon$ , when illuminated, as reported in [1] might take place due to additional polarization that occurs during hopping charge transfer. Formation or visualization of a photoelectret effect is most likely due to photo-induced multiply charged centers [2]. In fact, illumination of such substances leads to redistribution of charge carriers over discrete levels, polarization of certain centers, and change in the density of states [3]. This, in turn, changes permittivity giving rise to the photodielectric effect. In variable electric fields, the photodielectric effect is characterized by a number of additional features because a complex spectrum of localized states is found to contribute to polarization processes of various energy levels depending on the field frequency and illumination.



**Fig. 1** Frequency dependences of permittivity of the 4-fold expanded clathrate  $GaSe\langle NaNO_2 \rangle$  measured under normal conditions (black), in the magnetic field (red), and when illumination is applied (violet). The insert shows frequency dependences of the tangent of electric losses.

In this case, a significant magneto-capacitive effect has been highly likely attributed to the Zeeman modification of an energy spectrum as well documented by authors in [4]. This energy is followed by an increasing density of states near the Fermi level, which causes an increase both in the Maxwell-Wagner polarization and the additional one arising due to jumps of current carriers executed by localized states with energies close to the Fermi energy.

For clathrate  $GaSe\langle NaNO_2 + Propolis \rangle$  with bi-intercalate guest component, I-V characteristics assume an unusual form (Fig. 2). The hysteresis nature of the I-V characteristic indicates a memristor effect. Since for clathrates  $GaSe\langle NaNO_2 \rangle$ , the I-V characteristics were linear, it is assumed that for clathrate  $GaSe\langle NaNO_2 + Propolis \rangle$  propolis introduces oxygen vacancies that tend to migration after an external potential is applied. In this case, the mechanism of charge accumulation would be pseudo-capacitive in nature due to oxidation-reduction reactions [5].



**Fig. 2.** Cyclic voltammetry characteristic of  $GaSe\langle NaNO_2 + Propolis \rangle$  measured under normal conditions (black) and in magnetic field (red), and when illumination is applied (violet).

### Literatura

- [1] Żukowski, P. V., Partyka, J., Wagierek, P., Shostak, Y., Sidorenko, Y., & Rodzik, A. (2000). *Semiconductors*, 34(10), 1124. doi:10.1134/1.1317568
- [2] Kurbanov, M. A., Suleymanov, G. Z., Safarov, N. A., Gochuyeva, A. F., Orujov, I. N., & Mamedova, Z. M. (2011). *Semiconductors*, 45(4), 503. doi:10.1134/s1063782611040130
- [3] Anisimova, N. I., Bordovskii, V. A., Grabko, G. I., & Castro, R. A. (2013). *Technical Physics Letters*, 39(1), 98. doi:10.1134/s1063785013010318
- [4] Demin, R. V., Koroleva, L. I., Muminov, A. Z., & Mukovskii, Y. M. (2006). *Physics of the Solid State*, 48(2), 322. doi:10.1134/s1063783406020211
- [5] Kamble, G. U., Shetake, N. P., Yadav, S. D., Teli, A. M., Patil, D. S., Pawar, S. A., ... Dongale, T. D. (2018). *International Nano Letters*. doi:10.1007/s40089-018-0249-z

The project financed under the program of the Minister of Science and Higher Education under the name "Regional Initiative of Excellence" in the years 2019–2022 project number 020/RID/2018/19, the amount of financing 12,0000,00 PLN.

# ANALYSIS OF ECT MEASUREMENT UNCERTAINTY BASED ON TOMOGRAPHIC RAW DATA

Zbigniew CHANIECKI

Lodz University of Technology, Łódź

The goal of paper is demonstrated data processing algorithm for analysis measurements uncertainty in term of electrical capacitance tomography. Process tomography systems provide measurements data, raw data, which are the basis for reconstructed image procedure.

The main aim of process tomography system is the visualization of process in the form of an image. The reconstructed image is much easier to interpret by engineers or researchers, which main task is to monitor the state of the process and to understand its behaviour. however, the information presented in form of image is included in raw data. We can touch raw data in two aspects, as the set of data which can be directly use in monitoring system or as the set of data which allow to show image of process. In both elements quality of raw data in sense of metrological aspects is very important and crucial for better interpreted changes of data - image and raw tomography data. Knowledge about uncertainty of tomography data improve significantly understanding of process changes. Estimation of uncertainty is valuable information about the limitations of the measurement method, resulting from the measuring equipment used and the impact of the environment parameters like temperature, humidity etc., on the measurement result. The measurement accuracy can be given by providing the value of measurement uncertainty, as a parameter related to the measurement result, characterizing the dispersion of values that can be reasonably assigned to the measured value. The measurement values without assessment result of its accuracy do not contain useful information and are worthless.



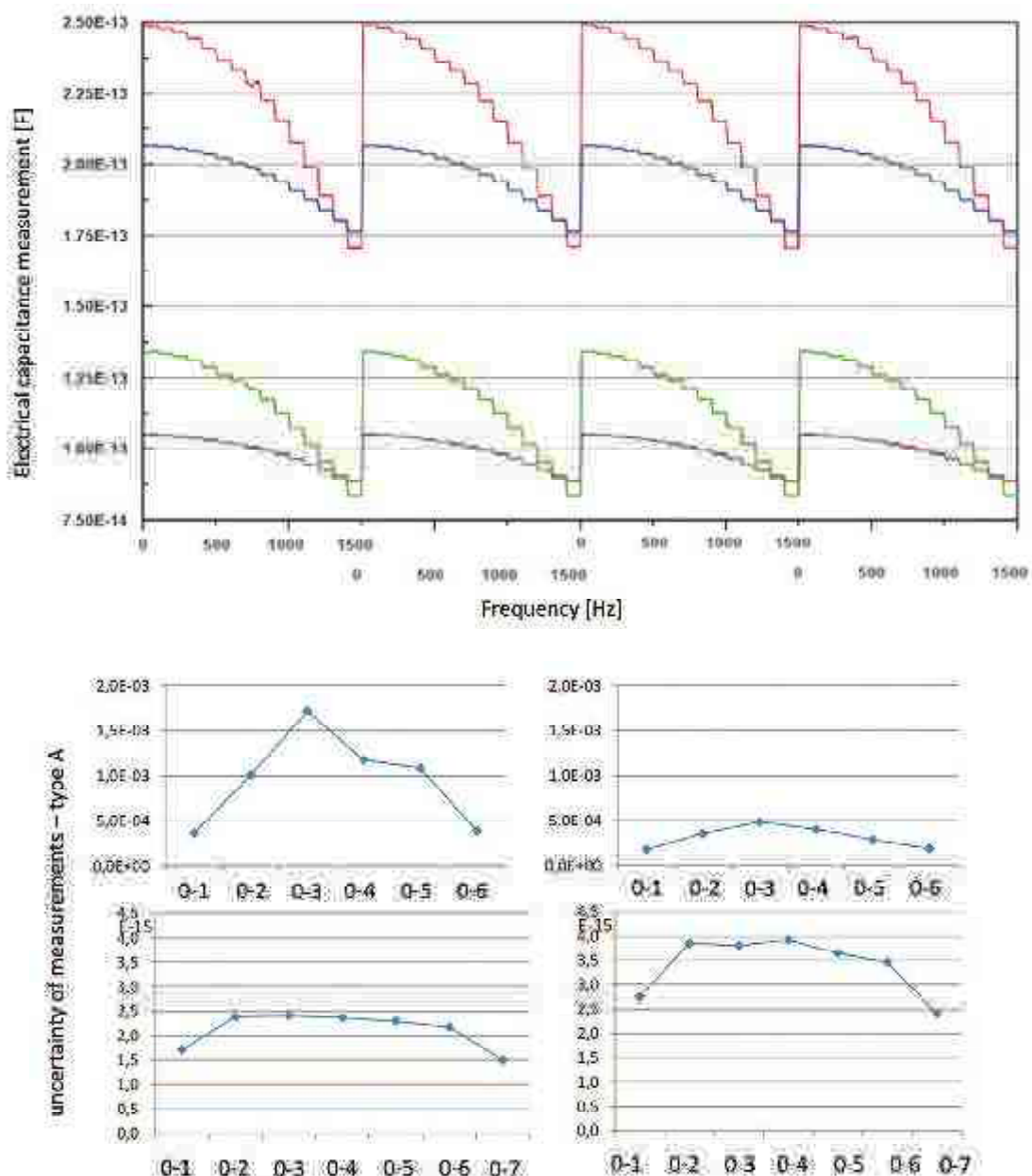
**Figure 1:** Exemplary photos of big scale ECT sensors that may result in varying records for different measurement conditions, experimental setups and hardware.

The analysis of accuracy of the results was based on the analysis of uncertainty of measurement based on well-known theorem [18], uncertainty of measurements – type A, uncertainty of measurements of the meter – type B, and complex uncertainty according to following set of equations:

$$u_A = S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n-1} (c_i - \bar{c})^2}{n(n-1)}}; u_B = \frac{\Delta g}{\sqrt{3}}; \text{ and } u_z = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}$$

where  $c_i$  depicts  $i$ -th normalized capacitance value in measurement vector,  $n$  is the number of independent measurements,  $\bar{c}$  is the average value determined on the basis of normalized inter-electrode capacitances.





**Figure 2:** Results of comparison for measurement records for inner ECT sensors with full and partial external shield. Top: results given for selected measurement electrode pairs located at the min distance of 2 from one another, various settings of excitation signal frequency and amplitude (100÷1500kHz within 1÷5V range). Bottom: results of measurement uncertainty determination for two analysed ECT tomography systems, for empty (left column) and full sensor (right column)

Results show that there is an enormous impact of the ECT data acquisition and measurement unit. However, if the study of sensors are conducted using the same ECT tomography device, it is possible to compare the quality of sensors. On the other side it is possible to compare two ECT tomography systems by using the same sensor.

## **Bibliography**

- [1] Bendat, J.S., Piersol, A.G., 2010. Random Data: Analysis and Measurement Procedures. Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley & Sons Incorporated, 4th Edition, pp. 640, 2010
- [2] Zbigniew Chaniecki, Krzysztof Grudzień, Dominik Sankowski, Tomographic Raw Data – measurement and analysis, fundamental terms, 7th World Congress on Industrial Process Tomography, WCIPT7, 2-5 September 2013, Krakow, Poland, 2013
- [3] Yang, W.Q., 2001. Further developments in AC-based capacitance tomography system. Rev. Sci. Instrum., 72, 10, pp. 3902-3907, 2001
- [4] Yang, W.Q., 2010. Design of electrical capacitance tomography sensors. Meas. Sci. Technol, 21, pp. 042001.

# METHODS OF PROCESS MINING AND PREDICTION USING DEEP LEARNING METHODS

Tomasz CIEPLAK<sup>3</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>2</sup>, Michał MAJ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix Group, Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology, Lublin

## Introduction

The processes, despite their repeatability in time, evaluate and change adapting to the needs of the system in which they are launched. Therefore, it is important to know and understand the changes taking place, and then to create such a tool that these changes, in an automated manner, will be able to predict.

The article has the following structure. Section II provides an overview of other works related to this study. Section III shows the basic terms related to the described subject. Section IV presents the techniques related to process mining and an analytical example on a selected set. The remaining part is devoted to the implementation of the technique of predicting subsequent events in time that make up the analyzed process. Section V summarizes the whole and contains plans related to future research directions.

Process mining is a field that provides methods, tools and techniques to learn or increase the overall knowledge of a process (usually business [1] but also related to e.g. security[2], [3]). This is done by analyzing the data of occurring events, the data of which is collected during the process and then stored in a specific format. Due to the fact that process mining is widely used in industry, there is a need to develop various types of tools. The most tools are created for process detection, i.e. creating process models. Another group of tools are those that are used to check compliance, i.e. to verify the extent to which a specific model is a precisely studied process. Process models are also used to improve processes by displaying relevant information, e.g. performance measures. An example of commercial tools widely used in business is Calonis [4]. Another group of tools are open systems derived from or used in academic environments. ProM Framework is the most widely disseminated tool of this type [5], [6]. The third group of software are libraries that enable attaching opportunities related to process mining in the built systems. The experiment uses the PM4Py library for the Python language [7].

The research was inspired by the article [8] in which the authors presented the assumptions of predictive monitoring of business processes.

## Concepts and theoretical foundations

The Petri net is a bipartite directed graph whose vertices belong to two sets: places and transitions. Arches can only connect places with and transitions with places. The basic concepts that are used in Petri Nets are marking, tokens, arches, places, and transitions. A Petri net is defined as a tuple  $PN = (P, T, F, W, M_0)$ , wherein:  $P$  is a finite set of places;  $T$  is a finite set of transitions;  $F \subset (P \times T) \cup (T \times P)$  is a finite set of arcs;  $W: F \rightarrow \mathbb{N}$  is a function that assigns weights to arches;  $M_0: P \rightarrow \mathbb{N} \cup \{0\}$  is the initial marking.  $N = (P, T, F, W)$  often denotes a network without a specific initial marking. Through  $(N, M_0)$  a network with a fixed initial marking [9].

## Techniques related to analytical process

In this chapter techniques related to process mining and an analytical example on a selected set will be discussed. **The data set used is called a-10000-base, it contains a log file saved in the XES format [11]. Table I summarizes the data set, which contains 27,000 events.**

TABLE I. DATASET DESCRIPTION

Column Name	Data Type	Count	Uni. Val.	Mis. Val.
concept:name	object	270000	25	0
lifecycle:transition	object	270000	1	0
time:timestamp	datetime64[ns]	270000	270000	0
case:concept:name	int64	270000	10000	0

In the process recorded repeated 17 cycles which, in development time can be treated as a sequences. Keras Framework was used to build the test environment. The learning and validation curve is shown in Fig. 1. The popular MEA measure was used as the metric and 'categorical\_crossentropy' was used as a loss function. The following hyperparameters were found using the grid search method: 'activation': 'softmax', 'optimizer': 'nadam'.

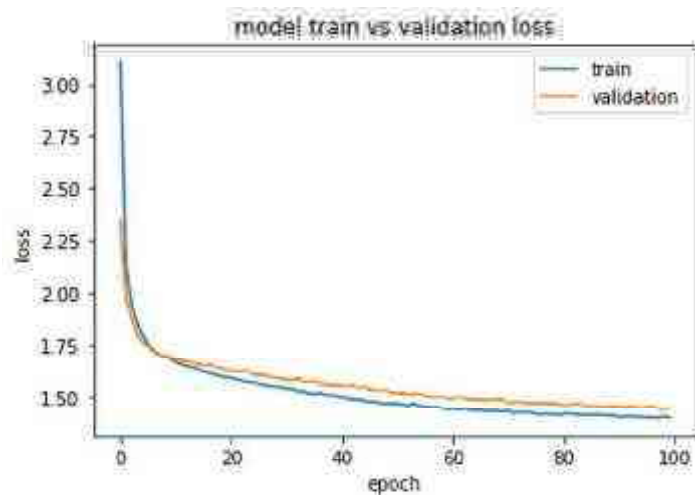


Fig. 1. Learning and validation process.

## References

- [1] W. M. P. Van Der Aalst et al., "Business process mining: An industrial application," *Inf. Syst.*, vol. 32, no. 5, pp. 713–732, 2007.
- [2] S. Bernardi, R. P. Alastuey, and R. Trillo-Lado, "Using process mining and model-driven engineering to enhance security of web information systems," in *2017 IEEE European Symposium on Security and Privacy Workshops (EuroS&PW)*, 2017, pp. 160–166.
- [3] V. P. Mishra, J. Dsouza, and L. Elizabeth, "Analysis and comparison of process mining algorithms with application of process mining in intrusion detection system," in *2018 7th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions)(ICRITO)*, 2018, pp. 613–617.
- [4] F. Veit, J. Geyer-Klingenberg, J. Madrzak, M. Haug, and J. Thomson, "The Proactive Insights Engine: Process Mining meets Machine Learning and Artificial Intelligence.," in *BPM (Demos)*, 2017.
- [5] A. A. Kalenkova, M. De Leoni, and W. M. P. van der Aalst, "Discovering, Analyzing and Enhancing BPMN Models Using ProM.," in *BPM (Demos)*, 2014, p. 36.
- [6] H. M. W. Verbeek, J. Buijs, B. F. Van Dongen, and W. M. P. van der Aalst, "Prom 6: The process mining toolkit," *Proc. BPM Demonstr. Track*, vol. 615, pp. 34–39, 2010.
- [7] A. Berti, S. J. van Zelst, and W. van der Aalst, "Process mining for Python (PM4Py): bridging the gap between process-and data science," *arXiv Prepr. arXiv1905.06169*, 2019.
- [8] N. Tax, I. Verenich, M. La Rosa, and M. Dumas, "Predictive Business Process Monitoring with LSTM Neural Networks," 2017.

- [9] Y.-S. Huang and Y.-L. Pan, “A Computationally Improved Control Policy for FMS Using Crucial Marking/Transition-Separation Instances,” in *Formal Methods in Manufacturing Systems: Recent Advances*, IGI Global, 2013, pp. 61–82.
- [10] W. Zhang et al., “LSTM-based analysis of industrial IoT equipment,” *IEEE Access*, vol. 6, pp. 23551–23560, 2018.
- [11] V. Bloemen, “Generated and industrial PNML models with generated log traces (in XES),” 2018. [Online].

# USE OF THE LOW (LTS) AND HIGH (HTS) TEMPERATURE SUPERCONDUCTORS IN THE MAGNETIC SEPARATION. TECHNICAL AND ECONOMICAL PROBLEMS

Antoni CIEŚLA, Mikołaj SKOWRON

AGH – UST (University of Science and Technology)

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie,

Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

## Introduction

The conventional magnetic separators used in the mineral industry are equipped with traditional magnetic circuits or with permanent magnets (rare earth). However, when processing minerals with low magnetic susceptibilities or minerals of very small particle size, these separators are inefficient. In addition, a conventional magnetic circuit consumes considerable amounts of electricity to generate a relatively low magnetic field (~2 Tesla). The equipment is also heavy and bulky. Only a separator having a superconducting magnet can contribute to solve most of the problems, and only such a filter can produce high magnetic fields with low energy consumption [1], [2], [3]. It is clear that in large-scale high gradient magnetic separators (HGMS), low-temperature superconducting (LTS) technology is displacing conventional water-cooled copper magnets. With the recent discovery of high-temperature superconductivity (HTS), it remains to be seen if these new ceramic-oxide superconductors will replace the traditional intermetallic low-temperature superconductors. HTS magnet operation scheme for HGMS and proposed design of the HTS magnet with Liquid Nitrogen Dewar are presented in Fig. 1 and Fig. 2. In his work technical and economical aspects of applying LT and HT superconductors for magnetic separation have been presented.

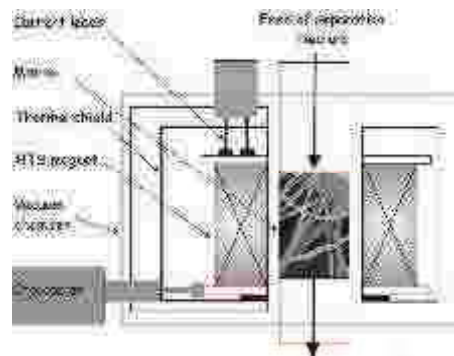


Fig. 1. HTS magnet operation scheme for HGMS

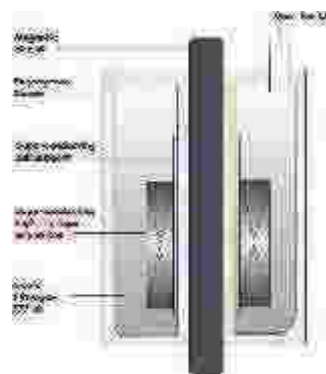


Fig. 2. Proposed design of the HTS magnet with Liquid Nitrogen Dewar

## Technical aspects

The early high-intensity magnetic separators (HIMS) used in the mineral industry were resistive electromagnets using either cooled copper coils or new ceramic permanent magnets (rare earth). About twenty years ago, superconducting magnets made their first entry into these applications, and, since that time, their number and popularity has steadily increased.

A superconducting magnet generates a higher magnetic field because it is not restricted by the saturation of iron. This can be used to advantage in several ways:

- the main advantage is to separate small-diameter and weakly magnetic particles that cannot be separated by conventional magnets,

- the flow rates can be increased through a fixed matrix configuration,
- the matrix volume can be reduced for a given flow rate.

In general, the advantages of superconducting magnetic separation systems are as follows [4]:

1. reduced power requirements,
2. reduced weight and volume, due to elimination of the soft iron core and the compactness of windings relative to those of conventional systems,
3. higher field strengths, which allow for higher processing velocities for a given separation effectiveness or higher separation effectiveness for a given processing velocity.

### Economical aspects

The efficiency of HGMS systems would be increased further by the introduction of high-temperature superconductors (HTS). These systems permit much more intense fields than iron-based magnetic systems but do not entail the Joule heating losses.

A preliminary economic comparison of conventional HGMS with 4-K (LTS) and 77-K (HTS) superconducting HGMS systems indicates the following [5]:

1. The annual operating costs (including capital) for a 4-K superconducting HGMS are about 8 % lower than those for a conventional HGMS. Operating costs for power consumption are reduced by 80 %.
2. The annual operating costs (including capital) for a 77-K superconducting HGMS are 15 % lower than those for a 4-K HGMS and 20 % lower than those for a conventional HGMS. The power operating costs for 77-K HGMS are about 7% of the 4-K HGMS costs and about 98 % of the conventional HGMS costs.

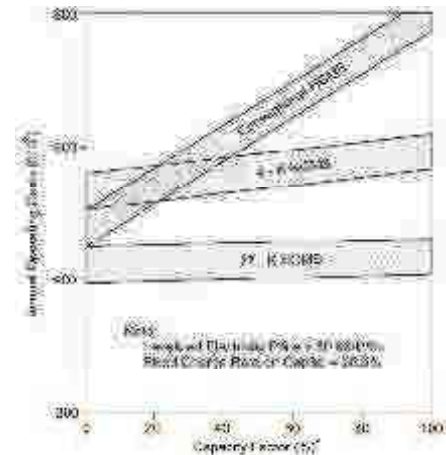


Fig. 3. Annual operating costs of alternative 2-T HGMS systems for kaolin processing at 500 gal/min [5]

### Conclusions

Magnetic separations technology represents a potential application for the new HTSc. This evaluation was predominantly and economic scoping study developed from previous work on a conventional separator. This technology shows a strong potential for significant cost reductions using HTSc, when evaluated on this basis of operating cost.

Several key areas of research appear to have been uncovered by this evaluation. The obvious need for higher current densities and bulk current capability has been previously stated by many researches. A better understanding of the HTSC physics and material properties is also needed.

Magnetic separations technology (HGMS) is perhaps the easiest technology in which to apply HTS in place of LTS superconductors. Indeed, it appears to be quite cost-effective under less than optimal design conditions and requires a relatively modest superconducting magnet operating under steady DC conditions. This technology could see applications in mining separations, waste treatment, coal beneficiation (by removing sulphur before combustion to decrease SO<sub>2</sub> emissions), and perhaps removal of NO<sub>x</sub> from boiler flue gases using HGMS or OGMS) technology. Superconducting magnet used in magnetic separation in Laboratory UST is presented in Fig. 4.



Fig. 4. Superconducting magnet used in magnetic separation in Laboratory UST

## References

- [1] Lee P. J. *Engineering Superconductivity*, J. Wiley & Sons, 2001
- [2] Ohara T. et al.: *Magnetic separation using superconducting magnets*, *Physica C* 357 – 360 (2001), 1272 – 1280.
- [3] Jin J. X., Liu H. K., Zeng R., Dou S. X.: *Developing a HTS magnet for high gradient magnetic separation techniques*, *Physica C* 341 – 348 (2000), 2611 – 2612.
- [4] Cieśla A.: *Superconductor Magnetic Filter: Industrial Construction*, Proc. Third International Conference Electromagnetic Devices and Processes in Environment Protection ELMECO2000, Nałęczów, 4 – 6 June 2000, pp.174 – 182.
- [5] Wolsky A. M [et al.] *Applied Superconductivity (Part 9: Industrial Separations and Material Handling)*, NDC, 1989, pp. 119 – 128.



# WPŁYW DŁUGOTRWAŁEJ EKSPOZYCJI W POLU ELEKTRYCZNYM GENEROWANYM W OTOCZENIU LINII PRZESYŁOWYCH WYSOKIEGO NAPIĘCIA PRĄDU STAŁEGO NA REAKCJE BEHAVIORALNE U SZCZURÓW

Grzegorz CIEŚLAR<sup>1</sup>, Aleksander SIEROŃ<sup>2</sup>, Paweł SOWA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Katedra i Oddział Kliniczny Chorób Wewnętrznych,  
Angiologii i Medycyny Fizykalnej w Bytomiu Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach

<sup>2</sup> Wydział Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Humanistyczno-Przyrodniczego  
im. Jana Długosza w Częstochowie

<sup>3</sup> Instytut Elektroenergetyki i Sterowania Układów Politechniki Śląskiej w Gliwicach

Wyniki licznych badań doświadczalnych dowodzą, że pola elektromagnetyczne o różnych parametrach fizycznych mogą wpływać na czynność ośrodkowego układu nerwowego organizmów żywych.

Celem badania jest ocena długotrwałej ekspozycji w stałym polu elektrycznym o parametrach fizycznych generowanych w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu stałego na reakcje behawioralne samców szczurów oceniane przy użyciu rutynowo stosowanych testów czynnościowych.

Materiał badawczy stanowiły 24 samce szczurów rasy Wistar, w wieku 8 tygodni o masie ciała około 180 g przed rozpoczęciem eksperymentu, będące na tym samym etapie rozwojowym. W trakcie trwania całego eksperymentu zwierzęta przebywały w optymalnych warunkach środowiskowych o stałej temperaturze 22°C i stałej wilgotności powietrza (60%), z zachowaniem 24 godzinnego cyklu dobowego (12-godzinna faza dzienna w sztucznym oświetleniu i 12-godzinna faza ciemności). Szczury przebywały w typowych klatkach plastikowych, nie ograniczających możliwości swobodnego poruszania się, po 8 zwierząt w klatce, otrzymywały standardową karmę dla gryzoni Labofed-B oraz miały nieograniczony dostęp do wody pitnej. Zwierzęta doświadczalne podzielono losowo na 3 równoliczne grupy: 2 grupy badane poddawane ekspozycji na działanie stałego pola elektrycznego o różnych wartościach natężenia pola elektrycznego (odpowiednio 16 kV/m i 25 kV/m) oraz grupę kontrolną. Wybór wartości natężenia pola elektrycznego wynikał z faktu, że zgodnie z obowiązującymi dotychczas przepisami pracownicy stacji przekaźnikowych linii przesyłowych prądu elektrycznego mogą być poddawani oddziaływaniu pola elektrostatycznego o najwyższym dopuszczalnym natężeniu 16 kV/m, a w nielicznych pomiarach prowadzonych w warunkach rzeczywistych w korytarzach linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu stałego stwierdzano okresowo występowanie natężeń 25 kV/m. Zwierzęta z grupy kontrolnej poddawane były ekspozycji pozorowanej, w trakcie której pomiędzy elektrodami układu generującego nie było generowane pole elektryczne.

Pole elektrostatyczne wykorzystywane w eksperymencie generowane było przez specjalnie skonstruowany układ generujący składający się z autotransformatora, transformatora wysokiego napięcia 220 V/60 000 V, prostownika kaskadowego, opornika wodnego, 2 elektrod i kilowoltomierz magnetostacyjny typu C196. Elektrody układu ekspozycyjnego o kształcie okrągłym, z brzegami odpowiednio profilowanymi w celu niedopuszczenia do wyładowań ostrzowych na krawędziach,

oddalone były od siebie o 50 cm. Zwierzęta eksponowane były w polu elektrostatycznym po 8 sztuk równocześnie w plastikowych klatkach o wymiarach (60×40×20) cm.

Szczury z I grupy badanej (8 osobników) były poddawane ekspozycji w stałym polu elektrycznym o natężeniu 16 kV/m, szczury z II grupy badanej w stałym polu elektrycznym o natężeniu 25 kV/m, natomiast szczury z grupy kontrolnej (8 osobników) poddawano ekspozycji pozorowanej. Ekspozycję we wszystkich grupach zwierząt prowadzono 8 godzin dziennie przez odpowiednio 14, 28 i 56 dni, a następnie w celu oceny trwałości ewentualnych uzyskanych efektów biologicznych zwierzęta były poddane dalszej obserwacji przez okres kolejnych 28 dni bez oddziaływania pola elektrostatycznego.

24 godziny przed rozpoczęciem cyklu ekspozycji, 24 godziny po pierwszej ekspozycji, a następnie w 7, 14, 21, 28, 42 i 56 dniu cyklu ekspozycji oraz w 28 dniu po jego zakończeniu u zwierząt z poszczególnych grup oceniano czynność ośrodkowego układu nerwowego poprzez rejestrację reakcji behawioralnych zwierząt za pomocą kilku rutynowo stosowanych w badaniach doświadczalnych testów czynnościowych.

Aktywność ruchową oceniano w teście „wolnego pola” na podstawie pomiaru liczby epizodów przekroczeń, zagładnięć, wspięć, czyszczenia i defekacji w ciągu 3 minut obserwacji. Aktywność poznawczą oceniano w teście „dziury” na podstawie liczby zagładnięć do otworów w odpowiednio skonstruowanej skrzyni w ciągu 3 minut obserwacji. Pamięć przestrzenną oceniano za pomocą testu „labiryntu wodnego” opracowanego w Zakładzie Farmakologii SUM w Zabrze na podstawie czasu pokonywania labiryntu odpowiednio skonstruowanego labiryntu wypełnionego wodą o temperaturze 25°C. Drażliwość zwierząt oceniano testem Nakamury i Thoenena przy użyciu umownej skali punktowej.

W celu wyeliminowania niewłaściwej interpretacji wyników wynikającej z różnej, indywidualnej aktywności ośrodkowego układu nerwowego poszczególnych zwierząt, wszystkie wyniki uzyskane w poszczególnych dniach obserwacji przedstawiano jako zmianę procentową w stosunku do wartości wyjściowych przed rozpoczęciem cyklu ekspozycji dla każdego zwierzęcia z osobna.

W grupie szczurów poddanych ekspozycji w stałym polu elektrycznym o natężeniu 16 kV/m obserwowano znamieny spadek liczby epizodów przekroczeń (7 i 14 dzień cyklu ekspozycji), wychyleń (14 dzień cyklu ekspozycji) oraz czyszczenia (21 i 28 dzień cyklu ekspozycji) w teście „wolnego pola” w porównaniu z grupą kontrolną poddawaną ekspozycji pozorowanej. Z kolei w grupie szczurów poddanych ekspozycji w stałym polu elektrycznym o natężeniu 25 kV/m obserwowano znamieny spadek liczby epizodów przekroczeń (7 dzień cyklu ekspozycji), wychyleń (7 i 14 dzień cyklu ekspozycji) oraz defekacji (56 dzień cyklu ekspozycji) w teście „wolnego pola” w porównaniu z grupą kontrolną poddawaną ekspozycji pozorowanej. W żadnej z grup szczurów eksponowanych w stałym polu elektrycznym nie stwierdzono istotnych statystycznie zmian liczby epizodów zagładnięć w teście „dziury”, czasu pokonywania labiryntu wodnego ani wartości wskaźnika drażliwości w porównaniu z grupą kontrolną poddawaną ekspozycji pozorowanej, zarówno w trakcie, jak i po zakończeniu cyklu ekspozycji.

Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że długotrwała ekspozycja całego ciała szczurów na działanie stałego pola elektrycznego o wartościach natężenia generowanych w otoczeniu linii przesyłowych wysokiego napięcia prądu stałego powoduje jedynie przejściowe, znamienne obniżenie aktywności ruchowej zwierząt doświadczalnych w środkowej fazie cyklu ekspozycji z następową normalizacją tej aktywności w trakcie dalszej ekspozycji oraz po jej zakończeniu, bez towarzyszących zmian aktywności poznawczej, pamięci przestrzennej oraz drażliwości.

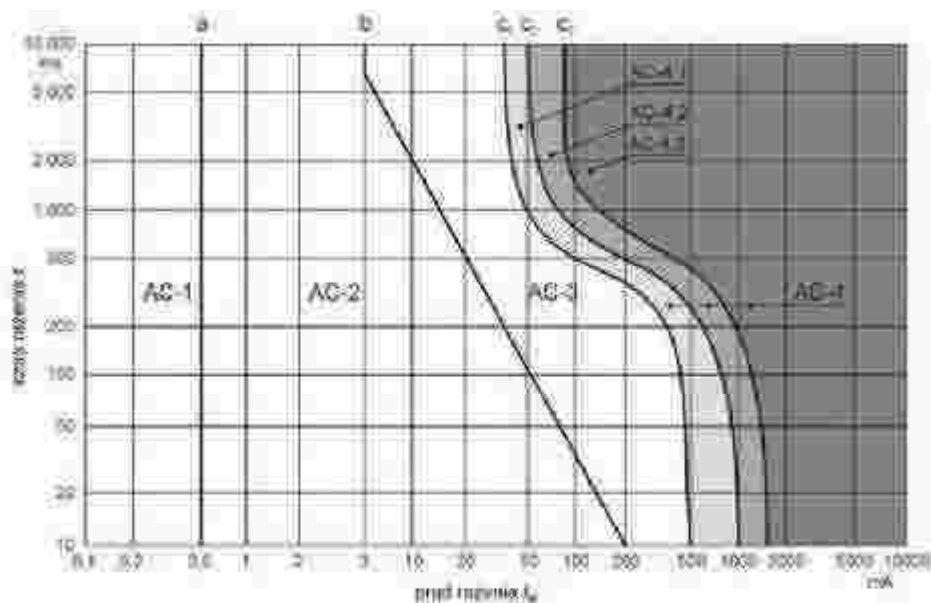
# WPŁYW KONSTRUKCJI WYŁĄCZNIKA RÓŻNICOWOPRĄDOWEGO NA CZAS JEGO WYZWOLENIA

Paweł CZAJA, Wojciech PLUTA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

## Wprowadzenie

Użytkownicy urządzeń i instalacji elektrycznych mogą być narażeni na porażenie prądem elektrycznym w przypadku uszkodzenia lub niesprawności zastosowanych środków ochrony przeciwporażeniowej. Wystąpienie niekorzystnych zmian patofizjologicznych w organizmie, uzależnione jest od wartości i rodzaju prądu rażeniowego oraz od drogi i czasu jego przepływu. Wystąpienie negatywnych skutków rażenia prądem elektrycznym można ocenić na podstawie raportu nr 479 Międzynarodowej Komisji Elektrotechniki [1]. Na rys. 1 zaznaczono strefy występowania skutków patofizjologicznych w zależności od czasu i wartości prądu rażeniowego. Krzywą b uznaje się za graniczną wartość prądu samouwolnienia, po przekroczeniu której nie jest możliwe samodzielne uwolnienie się rażonego spod napięcia. Zdarzenia zagrażające bezpośrednio życiu występują wówczas, gdy wartości prądu i czasu rażenia przekraczają wartości graniczne wynikające z krzywych  $c_1$  -  $c_2$  -  $c_3$ , rozdzielających strefy AC-3 i AC-4. Krzywa  $c_1$  wyznacza granicę tolerowanego ryzyka, dopuszczalnego przy stosowaniu środków ochrony przeciwporażeniowej [2].



**Rys. 1.** Działanie na organizm ludzki prądu elektrycznego o częstotliwości  $15 \div 100$  Hz przy przepływie prądu na drodze obie stopy – lewa ręka [1]

W urządzeniach i instalacjach niskiego napięcia, ochrona przed porażeniem prądem elektrycznym, powinna składać się z odpowiedniej kombinacji środka do ochrony podstawowej i niezależnego środka do ochrony przy uszkodzeniu lub wzmocnionego środka ochrony, który zabezpiecza zarówno ochronę podstawową, jak i ochronę przy uszkodzeniu [1]. W przypadku warunków specjalnych wynikających z czynników zewnętrznych, norma [1] nakazuje zastosowanie w instalacjach dodatkowo środków ochrony uzupełniającej takich jak wyłączniki RCD.

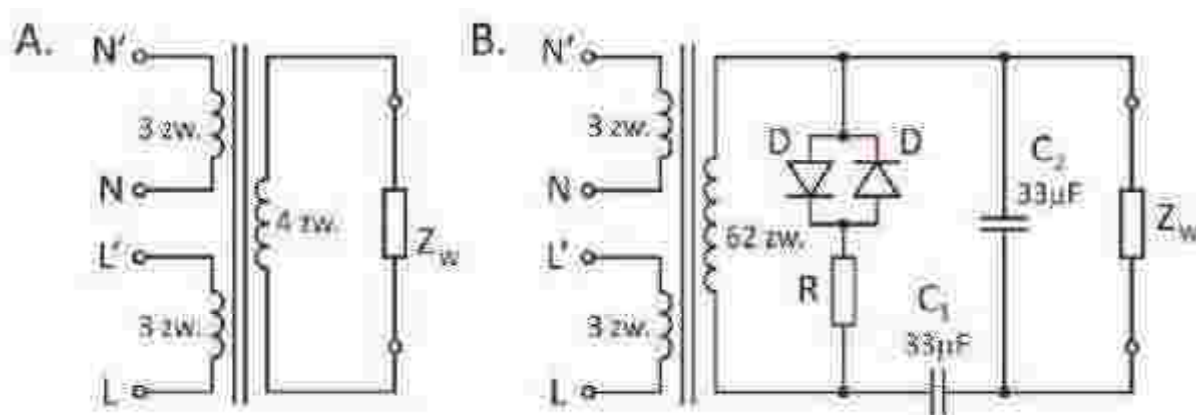
**Tabela 1.** Znormalizowane wartości czasu wyłączenia i czasu niezadziałania wyłączników RCD [4]

Typ	$I_n$ [A]	$I_{\Delta n}$ [A]	Znormalizowane wartości czasu wyłączenia i czasu niezadziałania dla prądu różnicowego ( $I_{\Delta}$ ) równego			
			$I_{\Delta n}$	$2 \cdot I_{\Delta n}$	$5 \cdot I_{\Delta n}$	
Ogólnego zastosowania	Dowolna wartość	Dowolna wartość	0,3 s	0,15 s	0,04 s	maksymalny czas wyłączenia
Selektywna	$\geq 25$	$> 0,03$	0,5 s	0,2 s	0,15 s	maksymalny czas wyłączenia
			0,13 s	0,06 s	0,05 s	minimalny czas wyłączenia

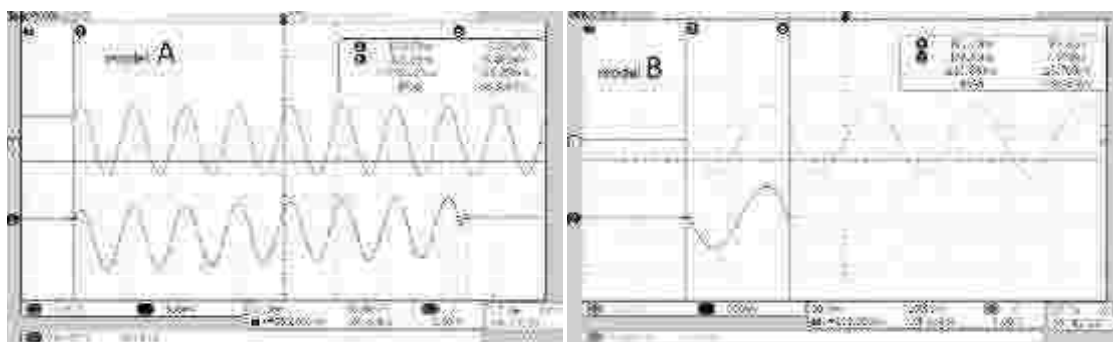
W przypadku wyłączników RCD mających zapewnić ochronę uzupełniającą w obwodach niskiego napięcia [3], zakres poprawnego wyzwalania zawiera się w granicach od 15 do 30 mA pierwotnego prądu różnicowego. Graniczne czasy zadziałania oraz niezadziałania w przypadku wyłączników RCD selektywnych określa norma [4].

### Badania laboratoryjne wyłączników RCD

Badaniom podano wyłączniki RCD typu AC o różnej konstrukcji wewnętrznej układu pośredniczącego. Wszystkie badane wyłączniki RCD były typu AC o długotrwałym dopuszczalnym prądzie  $I_n = 25$  A oraz znamionowym prądzie różnicowym  $I_{\Delta n} = 30$  mA. Były to wyłączniki różnych producentów o działaniu niezależnym od napięcia. Na rys. 2 przedstawiono schematy budowy wewnętrznej dwóch wybranych wyłączników RCD. Wyłącznik oznaczony jako A, charakteryzuje się bezpośrednim połączeniem uzwojenia wtórnego przekładnika sumującego z uzwojeniem wyzwalacza elektromagnetycznego. W wyłączniku B producent zastosował dopasowanie impedancyjne poprzez montaż w obwodzie wtórnym przekładnika sumującego kondensatorów. W obwodzie wtórnym zastosowano również antyrównoległe połączenie diod eliminujące zbędne zadziałania przy chwilowych, przejściowych prądach różnicowych w uzwojeniu pierwotnym [5].

**Rys. 2.** Schematy ideowe przykładowych wyłączników RCD (model A i B)

Na rys. 3. przedstawiono oscylogramy pomiarów czasów zadziałania wyłączników RCD (model A i B).



**Rys. 3.** Pomiary czasów zadziałania dla prądu  $I_{\Delta n} = 30$  mA wyłączników RCD zgodnie ze schematami zamieszczonymi na rys. 2 (model A i B).

Jak przedstawiono na rys. 3, zastosowanie w wyłącznikach RCD elementów dopasowania impedancyjnego w obwodzie pośredniczącym wpływa na znaczne skrócenie czasu ich zadziałania, ale również może skutkować występowaniem zbędnych wyłączeń chronionych obwodów instalacji elektrycznej (np. z zamontowanymi oprawami oświetleniowymi LED z zabudowanymi zasilaczami impulsowymi). Właściwości magnetyczne zastosowanych w wyłącznikach RCD rdzeni przekładników sumujących, wpływają także na ich parametry eksploatacyjne [6]. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych czasów zadziałania wyłączników RCD o różnej konstrukcji wewnętrznej.

#### LITERATURA

- [1] IEC - Raport 479-1 Effects of current on human beings and live Stock, ESV, Vienna 2002
- [2] Czaja P., Jąderko A.: Ryzyko rażenia prądem w maszynach elektrycznych znajdujących się w stanie wybiegu, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12, 200-203, 2014
- [3] PN-HD 60364-4-41:2009 Instalacje elektryczne niskiego napięcia. Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa. Ochrona przed porażeniem elektrycznym
- [4] PN-EN 61008-1:2007 Wyłączniki różnicowoprądowe bez wbudowanego zabezpieczenia nadprądowego do użytku domowego i podobnego (RCCB). Część 1: Postanowienia ogólne
- [5] Czapp S., Horiszny J.: Badania symulacyjne układu wyzwalania wyłącznika różnicowoprądowego w warunkach zwiększonej częstotliwości prądu różnicowego, *Przegląd Elektrotechniczny*, 88 (2012), nr 2, str. 242-247
- [6] Czaja P., Pluta W.: Właściwości magnetyczne rdzeni przekładników sumujących wyłączników różnicowoprądowych, *Przegląd Elektrotechniczny*, 12/2019, str. 109-112

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# AUTOMATYCZNA KONTROLA STĘŻENIA DESFLURANU W ZABIEGACH OPERACYJNYCH PRZY UŻYCIU TECHNIK LAPAROSKOPOWYCH

Bartosz DOMINIKOWSKI<sup>1</sup>, Tomasz GASZYŃSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, Politechnika Łódzka

<sup>2</sup> Katedra Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Uniwersytet Medyczny w Łodzi

## Wstęp:

Obecnie znane są systemy przewidujące jaka wartość stężenia desfluranu będzie wymagana w czasie wykonywania znieczulenia ogólnego. Żadne z nich nie są sprzężone z parownikiem tego anestetyku. Autorzy artykułu zaprezentowali możliwości automatyzacji podaży gazów dla parowników wyposażonych w pokrętło nastawne w fazie kondukcji złożonego znieczulenia ogólnego. Wartość podawanego stężenia lotnego anestetyka ma być taka, aby możliwie stabilizowała hemodynamicznie znieczulanego pacjenta [1-2]. Wyżej wymienione rozwiązanie działa w oparciu o wartości krążenia takie jak: ciśnienie tętnicze skurczowe (*SBP*), rozkurczowe (*DBP*) oraz tętno (*HR*). Proponowany układ wyposażony jest w ograniczniki zawierające dwie granice górną oraz dolną zabezpieczające przed spłyceniem znieczulenia oraz pojawieniem się zbyt wysokiego ciśnienia śródczaszkowego (*ICP*). System reaguje także na szybkie zmiany wartości krążenia, które mogą świadczyć o braku stresu chirurgicznego. Autorzy pracy wykazali przydatność automatyzacji podawania gazów przedstawiając w pracy możliwe zaburzenia hemodynamiki śródoperacyjne w odpowiedzi na stres chirurgiczny w zabiegu cholecystektomii [3]. Układ wyposażono w ciekłokrystaliczny wyświetlacz przedstawiający wartości stężenia wydechowego desfluranu, które służą do celów dydaktycznych. Algorytm sterujący nastawą pokrętła parownika desfluranu nie wiąże przestrzeni wejściowych i wyjściowej zależnościami matematycznymi. Opisem ww. systemu jest wiedza eksperta (doświadczonego anestezjologa) na podstawie, której powstała hiperpłaszczyzna odwzorowująca jego działanie. Tradycyjne metody sterowania sprawdzają się znacznie lepiej do kontrolowania liniowych układów dynamicznych.

## Pacjenci:

Układ zaprojektowany został zwłaszcza dla pacjentów z grupy ryzyka ASA I oraz II (ocena stanu fizycznego) znajdujących się w stanie normowolemii poddawanych operacji chirurgicznej przy użyciu małoinwazyjnej techniki laparoskopowej

## Metoda:

Proponowana metoda polega na doborze stężenia desfluranu przy stałowartościowym przepływie świeżych gazów w trybie *VCV* (Volume-controlled ventilation, wentylacja objętościowo zmienna) o parametrze stosunku czasu wdechu do wydechu (*I:E*) wynoszącym 1:2. Ze względu na obniżenie kosztów znieczulenia wybrany został schemat niskich przepływów świeżych gazów (2l/min) nie powodujący zbyt dużego zawilgocenia ramion oddechowych w aparacie do znieczulenia. Głównym algorytmem sterującym pracą parownika jest sterownik rozmyty. Sygnały do niego są dostarczane z zewnętrznych kamer monitorujących aparat do znieczulenia, z których dane wczytywane są do algorytmu sterującego za pomocą techniki cyfrowej rozpoznającej znaki (*OCR*) [4]. Układ w czasie eksploatacji ma możliwość wyboru trybu pracy ręcznego lub automatycznego. Wykorzystanie inteligentnych systemów w anestezjologii zostało opisane w [5-10].

### **Wyniki:**

Poprawność działania algorytmu zweryfikowana została na symulatorze medycznym wysokiej wierności. Wartości wejściowe krążenia (wektor) wprowadzone zostały do inteligentnego algorytmu oraz do symulatora medycznego. Wartości wygenerowane żądanej dawki stężenia desfluranu z proponowanego algorytmu po ustawieniu na rzeczywistym parowniku w symulatorze medycznym pozwalały na osiągnięcie zamierzonego efektu hemodynamicznego znieczulanego pacjenta.

### **Wnioski:**

Proponowany algorytm pomiarowo sterujący może przyczynić się do poprawy jakości procesów znieczulenia ogólnego jako rozszerzenie tradycyjnego systemu zwiększając bezpieczeństwo znieczulanego pacjenta. Istotnym aspektem pracy jest cybernetyczne spojrzenie na sterowanie procesami w anestezjologii oraz implementacja odpowiednich procedur postępowania.

### **References**

- [1] Torri G.: Inhalation anesthetics: a review. *Minerva Anestesiologica*, 2010.
- [2] Mukul Chandra Kapoor and Mahesh Vakamudi.: Desflurane Revisited, *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology*, January-March, Vol 28, Issue 1, 2012
- [3] Shrestha BR, Gautam B, Shrestha S, Maharjan SK.: Study Of Haemodynamic and Endocrine Stress Responses Following Carbon Dioxide Pneumoperitonium, *BJA British Journal of Anaesthesia*, March 2012
- [4] Bobbi Winema Yogatamaa, Jhonson Leea, Suksmandhira Harimurtia, Trio Adiono, FPGA-based Optical Character Recognition for Handwritten Mathematical Expressions, 2018 International SoC Design Conference (ISOCC), 2018
- [5] Xu-Sheng Zhang Johnnie W. Huang Rob J. Roy: Depth of Anesthesia Control with Fuzzy Logic, *Fuzzy Logic in Medicine* pp 83-112, 2002
- [6] Yardimci N. Hadimioglu Z. Bigat S. Ozen.: Depth Control of Desflurane Anesthesia with an Adaptive Neuro-Fuzzy System, *Computational Intelligence, Theory and Applications* pp 787-796, 2005
- [7] Faiyaz Doctora, Chih-Hao Syueb, Yan-Xin Liub, Jiann-Shing Shiehb, Rahat Iqb.: Type-2 fuzzy sets applied to multivariable self-organizing fuzzy logic controllers for regulating anesthesia, *Applied Soft Computing* Volume 38, January, pp. 872-889, 2016
- [8] D. A. Linkens, M. F. Abbod, and J. E. Peacock.: Clinical implementation of advanced control in anesthesia, *Transactions of the Institute of Measurement and Control* 22(4), October 2000
- [9] R. Meier , J. Nieuwland , A.M. Zbinden , S.S. Hacisalihzade.: Fuzzy Logic Control of Blood Pressure during Anesthesia, *IEEE control systems* 12(6):12 - 17 · January 1993
- [10] Daniel A. Hashimoto, M.D., M.S.; Elan Witkowski, M.D., M.P.H.; Lei Gao, M.D.; Ozanan Meireles, M.D.; Guy Rosman, Ph.D.: Artificial Intelligence in Anesthesiology: Current Techniques, Clinical Applications, and Limitations, *Anesthesiology*, Vol.132, 379-39, 2020

# ANALIZA RZECZYWISTEGO KSZTAŁTU IMPULSU GENERATORA ESD W RELACJI Z WYMAGANIAMI NORMATYWNYMI

**Tomasz DRÓŹDŹ, Paweł KIEŁBASA, Piotr NAWARA, Anna MIERNIK**

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

Współczesne środowisko naturalne zmagają się z zagrożeniami wynikającymi z rozwoju technologii pozwalających na rozwój cywilizacyjny ale generujących niepożądane oddziaływanie elektromagnetyczne. Zagrożenia pochodzące z urządzeń elektrycznych i elektronicznych spowodowane są najczęściej ich nadmierną emisją elektromagnetyczną oraz niewystarczającą odpornością na zaburzenia elektromagnetyczne.

Jednym z głównych wyzwań jest więc zapewnienie kompatybilności elektromagnetycznej (KEM) w przestrzeni pracy urządzeń. Parametryzacja kompatybilności elektromagnetycznej polega na ocenie stopnia spełnienia przez dane urządzenia wymagań dyrektywy EMC i norm zharmonizowanych. Normy te wprowadzają podział badań KEM na pomiary emisji elektromagnetycznej urządzeń oraz badania odporności urządzeń na zaburzenia elektromagnetyczne. Jednym ze szczególnie ważnych badań odporności urządzeń na zaburzenia impulsowe są testy wyładowań elektrostatycznych (ESD – ang. electrostatic discharge). Badania te wykonuje się w celu sprawdzenia odporności urządzeń na wyładowania, których źródłem są osoby obsługujące dane urządzenie oraz od innych urządzeń pracujących w pobliżu.

W Polsce przeprowadza się przedmiotowe badania według normy PN-EN 61000-4-2. Przedmiotem opracowania było przedstawienie nowej metody określania dokładności weryfikacji generatorów ESD, która obejmowała wykonanie pomiarów macierzy  $S$  z odpowiednim krokiem częstotliwości, wyznaczenie impedancji transferowej toru pomiarowego z zastosowaniem transformaty Fouriera. Nowatorskie rozwiązanie obejmowało również odpowiednie „sklejenie” charakterystyk macierzy  $S$  z uzyskanych w pomiarach wyników.

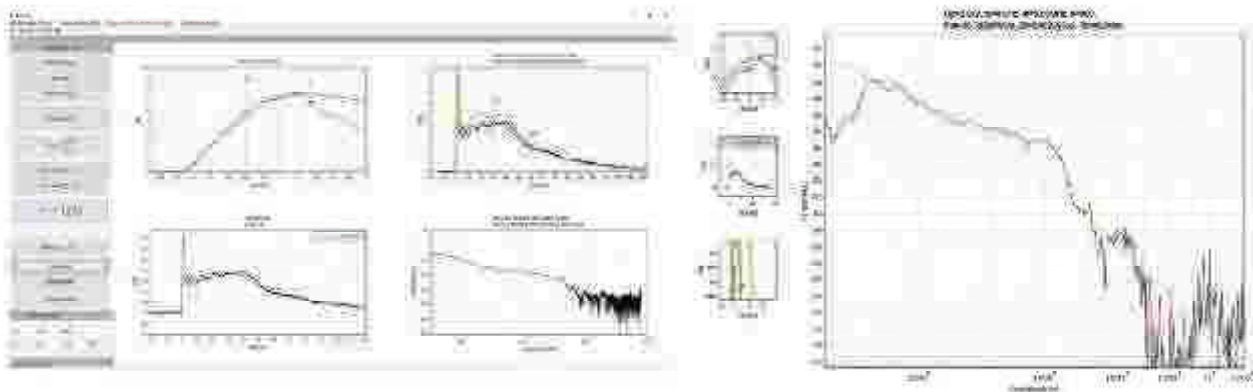
Całkowicie nowym podejściem do przedstawionego zagadnienia jest obliczenie rzeczywistego impulsu prądowego na wyjściu generatora, wszystkie nowe rozwiązania zostały zaimplementowane w autorskim programie symulacyjnym stworzonym na potrzeby niniejszej pracy. Program bazuje na opracowaniu modelu toru pomiarowego który wykorzystywany jest do uzyskiwania przebiegów zalecanych w przedmiotowej normie. Generator ESD jest kalibrowany w układzie pomiarowym (rys. 1). Wyładowanie elektrostatyczne jest kierowane do tarczy rozładowczej. Tarcza rozładowcza jest połączona kablem koncentrycznym poprzez tłumik z szerokopasmowym oscyloskopem o impedancji wejściowej  $50 \Omega$ . Danymi wejściowymi są pomiary parametrów macierzy rozproszenia  $S$  tarczy, kabla z tłumikiem oraz oscyloskopu wykonane wektorowym analizatorem sieci.





Rys. 1. Uproszczony schemat układu kalibracji generatora ESD

Na podstawie wykonanych symulacji (rys.2) i przeprowadzona analiza błędów można stwierdzić, że ze względu na dyskretne przetwarzanie sygnałów oscyloskopów cyfrowych i zastosowanie dyskretnej transformaty Fouriera, uzasadnione jest wykonywanie rejestracji przebiegów weryfikacji generatorów ESD oscyloskopami o paśmie przenoszenia do 4 GHz, jako wystarczającej szerokości przedziału częstotliwości. Szczególnie istotne jest to dla wiarygodnego odtworzenia tej części przebiegu prądu, w której następuje gwałtowny wzrost jego wartości, a więc przy wyznaczaniu czasu narastania. W opracowaniu przedstawiono innowacyjną metodę praktycznego wykonywania pomiarów parametrów macierzy S elementów toru pomiarowego. Dokonanie pomiarów poprzez podział zakresu pomiarowego na przedziały a następnie wykonanie ich z maksymalną dokładnością dla każdego przedziału wektorowego analizatora sieci oraz wykonanie pomiarów całego zmontowanego układu pomiarowego jako całości, pozwoliło uzyskać zwiększenie dokładności odtwarzania sygnału generatora.



Rys. 2. Widok panelu programu symulacyjnego oraz przykładowy przebieg gęstości widmowej zmierzonego układu pomiarowego z naniesionym wykresem zalecanym przez normę

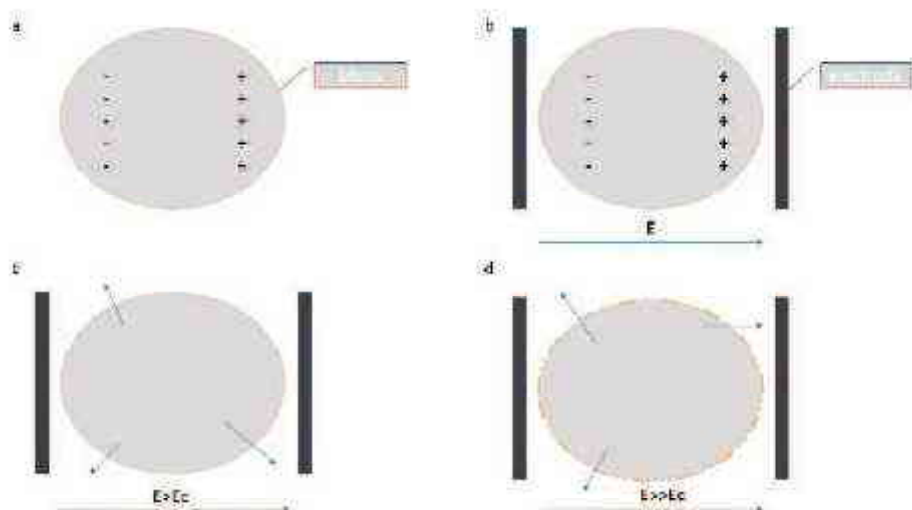
Opisana metoda pozwala na wiarygodne przeprowadzenie oceny wielkości zniekształceń impulsu prądu ESD i dokładniejszą w stosunku do obecnie stosowanych metod weryfikację generatorów wyładowań elektrostatycznych. Uwzględnia ona błędy wnoszone przez główne elementy toru pomiarowego (tarczę rozładowczą, kabel z tłumikiem i impedancję wejściową oscyloskopu), w szerokim zakresie częstotliwości

# WPŁYW ODDZIAŁYWANIA PULSACYJNEGO POLA ELEKTRYCZNEGO NA STRUKTURĘ MIĘDZYKOMÓRKOWĄ SUBSTANCJI BIOLOGICZNYCH

Tomasz DRÓŹDŹ, Paweł KIEŁBASA, Piotr NAWARA, Anna MIERNIK

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

W artykule przedstawiono efekt zastosowania pulsacyjnego pola elektrycznego (PEF) do zmiany struktury wybranych substancji biologicznych. Analizę procesu przeprowadzono w oparciu o efekty związane z mikro-, meso- i makroskalą. Oprócz uwzględnienia pulsacyjnego pola elektrycznego efektów, analizę procesu rozszerzono o uwzględnienie termicznych skutków ubocznych i wytupujące synergizmy w oddziaływaniu na materię biologiczną jednocześnie temperatury i pola elektromagnetycznego. Efektem ekspozycji materii organicznej na w/w warunki jest elektroporacja błony komórkowej, czyli powstawanie lub wzrost natywnych, już istniejących porów membranowych. Komórka biologiczna zachowuje się w sposób podobny do kondensatora z niską wartością stałej dielektrycznej. W związku z tym, gdy zostanie ona umieszczona w obszarze działania pola elektrycznego, jony znajdujące się wewnątrz oraz na zewnątrz komórki zaczną poruszać się zgodnie z kierunkiem przyłożonego pola elektrycznego. W konsekwencji prowadzi to do akumulacji wolnych, naładowanych przeciwnie ładunków elektrycznych po obu stronach błony komórkowej. Te ładunki mogą oddziaływać na siebie obopólnie i powodują lokalne wzrosty ciśnienia, co prowadzi do zmian grubości błony komórkowej, a w konsekwencji do przerwania jej ciągłości [1]. Nieodwracalna elektroporacja zachodzi, gdy naturalny potencjał membranowy komórki w wyniku aplikowanego pola elektrycznego wzrośnie powyżej naturalnej, krytycznej wartości, wynoszącej około 1V. W takim przypadku dochodzi do przerwania ciągłości błony komórkowej, w wyniku czego komórka nie jest w stanie prowadzić normalnych funkcji życiowych (rys. 1).



**Rys. 1.** Schematyczne przedstawienie wpływu pola elektrycznego na komórki ( $E$  – aplikowane natężenie pola elektrycznego,  $E_c$  – krytyczne natężenie pola elektrycznego)

Napięcie krytyczne zależy od wielkości komórki. Im jest ona mniejsza, tym większe napięcie krytyczne należy zastosować. Komórki owoców i warzyw mają większe rozmiary od komórek mikroorganizmów, więc krytyczny potencjał, powodujący ich permeabilizację, jest osiągnięty przy niższych natężeniach pola

elektrycznego. Przykładowo, optymalna przepuszczalność membran papryki, określana wielkością pola powierzchni powstałych porów, jest osiągana przy natężeniu 1,5 - 3,0 kV/cm i przy zastosowaniu od 10 do 30 impulsów. Natomiast natężenie niezbędne do inaktywacji drobnoustrojów wynosi 12 - 50 kV/cm. Badaniami objęto kolonie drożdży, które poddawano oddziaływaniu pulsacyjnego pola elektrycznego o napięciu 25 kV a liczba impulsów wynosiła 50, które inicjowane były w odstępach 5-cio sekundowych. W ramach analizy mikrobiologicznej z drożdży do czego wykorzystano metodę seryjnych rozcieńczeń według Kocha i metodę płytek lanych. Rozcieńczenia badanego materiału zostały wykonane przy użyciu sterylnego roztworu soli fizjologicznej. Na płytki Petriego przeniesiono po 1 cm<sup>3</sup> z każdego rozcieńczenia i zalano odpowiednią pożywką. Doświadczenie wykonano w 2 powtórzeniach. Płytki były inkubowane temperaturze 28°C przez 72h. Po okresie inkubacji zliczono kolonie na płytkach, następnie zawartość mikroorganizmów przeliczono na jednostki tworzące kolonie – CFU. Na rysunku 2 przedstawiono komórki drożdży przed stymulacją polem elektrycznym (rys. 2a) oraz po stymulacji (2b).



**Rys. 2.** Widok komórek: a) przed oddziaływaniem pulsacyjnym polem elektrycznym, b) po oddziaływaniu pulsacyjnym polem elektrycznym

Utrwalanie PEF przeprowadzono w urządzeniu Ertec SU-1 (rys.3) w stacjonarnej celce, której odległość pomiędzy elektrodami wynosiła 0,73 cm, co odpowiadało objętości poddanej oddziaływaniom PEF wynoszącej 8,5 cm<sup>3</sup> [3].



**Rys. 3.** Generator pulsacyjnych pól elektrycznych (PEF) ERTEC SU-1 – widok ogólny urządzenia

Odnotowano istotne różnice w strukturze błony komórkowej drożdży, które stosownie wybarwione pozwalają w drodze eksperymentu krytycznej wartości potencjału membranowego komórki po przekroczeniu którego dochodziło do przerwania ciągłości błony komórkowej.

#### Literatura

- [1] Ngadi M.O., Bazhal M.I., Raghaven G.S.V.: Engineering aspects of pulsed electroporation of vegetable tissues. *Agricultural Engineering International: the CIGR J. Scient. Res. Devel.*, 2003, 5, 1-10.
- [2] Puertolas E., Lopez N., Condon S., Alvarez I., Raso J.: Potential of PEF to improve red wine quality. *Trends Food Sci. Technol.*, 2010, 21, 247-255.
- [3] Oziembłowski M., Dróżdż T., Wrona P., 2013. Oddziaływanie Pulsacyjnych Pól Elektrycznych (PEF) na mikroorganizmy w kontekście technologii żywności. *Przegląd Elektrotechniczny*, 89 (2013), 12, 222-225.

# STANOWISKO DO PROTOTYPOWANIA ALGORYTMÓW STEROWANIA KOŁOWYMI ROBOTAMI MOBILNYMI

Sebastian DUDZIK, Anna PODSIEDLIK, Adam RAPALSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

W ciągu ostatnich lat znacząco wzrasta rozwój technologii związanej ze sterowaniem oraz komunikacją z kołowymi robotami mobilnymi w różnych obszarach [1]. Do pracy nad udoskonalaniem wspomnianych technologii potrzebny jest niezbędny sprzęt oraz oprogramowanie, dzięki któremu możliwe jest tworzenie i symulowanie prototypowanych algorytmów w warunkach laboratoryjnych [2].

W artykule przedstawiono Laboratorium Inteligentnych Robotów Mobilnych wyposażone w sprzęt, założonej w 1989 roku, kanadyjskiej firmy QUANSER, która jest obecnie światowym liderem w projektowaniu i wytwarzaniu produktów i kompletnych laboratoriów robotyki i mechatroniki. W skład laboratorium wchodzi najnowsze rozwiązanie „Autonomous Vehicles Research Studio”, w którym dostępne jest stanowisko naziemnej stacji kontroli „Ground Control Station” (rys. 1) wraz z niezbędnym oprogramowaniem: środowisko MatLab® oraz QUARCTM dla Simulink®.



**Rys. 1.** Stanowisko do pracy z robotami mobilnymi

Architektura oprogramowania studia badawczego została zaprojektowana tak, aby zapewnić kluczowe funkcjonalności wymagane do badań nad wieloma pojazdami poprzez różnorodne konfigurowalne moduły. Każdy moduł oparty jest na ramach komunikacyjnych QUARCTM, aby być niezależnym od celu. Umożliwia to naukowcom tworzenie aplikacji wysokiego poziomu i rekonfigurację procesów niskiego poziomu obsługiwanych przez wstępnie wbudowane moduły i biblioteki. Przestrzeń roboczą otoczoną siatką tworzy osiem kamer lokalizujących „Optitrack Flex 13” usytuowanych równomiernie w formie prostokąta. Dostępnymi robotami mobilnymi są innowacyjne autonomiczne roboty naziemne o otwartej architekturze, zbudowane na dwukołowej platformie mobilnej (QBot 2e, rysunek 2), stworzony na platformie robota Kobuki z komputerem pokładowym Raspberry Pi 3 B oraz wyposażony w bogate zestawy czujników i system wizyjny Microsoft Kinect. Artykuł opisuje szczegółowo parametry oraz

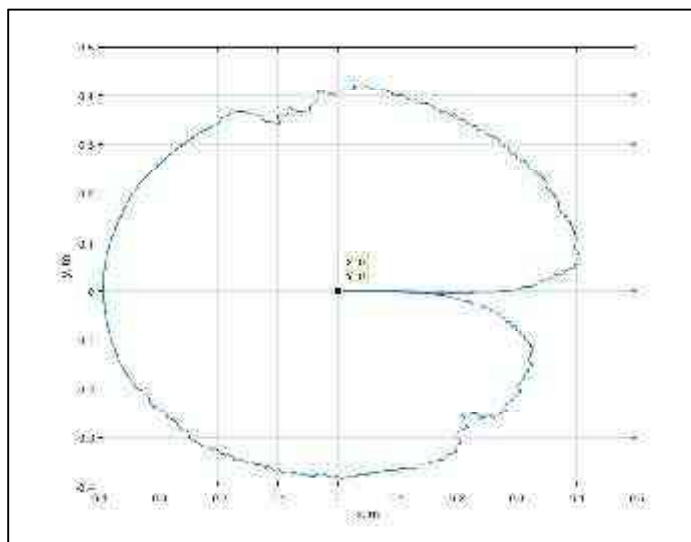
podzespoły używanego do badań na robocie mobilnym QBot 2e pokazanym na rysunku 2. Przedstawiona została również dokładna komunikacja pomiędzy robotami a stacją bazową.



Rys. 2. QUANSER QBot 2e

W pracy przedstawione zostały przykładowe zastosowania robotów mobilnych w różnych obszarach. Opisano modele kinematyki robotów mobilnych a także zaprezentowano wyniki dokonanych symulacji modeli oraz przykłady sterowania kołowym robotem mobilnym za pomocą zadanych trajektorii w wariancie napędu różnicowego, co pozwala na niezależne napędzanie kół do przodu i do tyłu. Takie podejście do geometrii kół robota mobilnego jest bardzo powszechne ze względu na prostotę i zwrotność.

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów parametrów ruchu przeprowadzanych z wykorzystaniem akcelerometru i żyroskopu przy odtwarzaniu zadanych trajektorii. Na rys. 3 przedstawiony został wykres przykładowej trajektorii wyznaczonej w trakcie badań. Na podstawie uzyskanych wyników sformułowano wnioski, w tym ocenę dokładności danych pochodzących z czujników w trakcie ruchu.



Rys. 3. Wykres przykładowej trajektorii robota mobilnego QBot 2e

#### Literatura

- [1] Weihua Li, Zhencai Li, Yiqun Liu, Liang Ding, Jianfeng Wang, Haibo Gao, Zongquan Deng, “Dynamics modeling and sliding mode control of tractor-trailer wheeled mobile robots subject to wheels slip”, 2019, Mechanism and Machine Theory, Volume 138, August 2019, pages 16-37.
- [2] T. Fauser, S. Bruder and A. El-Osery, “A comparison of inertial-based navigation algorithms for a low-cost indoor mobile robot,” 2017 12th International Conference on Computer Science and Education (ICCSE), Houston, TX, 2017, pp. 101-106.

# ENERGY CONSIDERATIONS FOR THE SAFETY OF CELLS IN ELECTRIC MOTOR VEHICLES

Andrzej ERD<sup>1</sup>, Józef STOKŁOSA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation in Lublin

## Introduction

The energy density ratio expressed in Wh / kg for lithium batteries currently used in the automotive industry is 200-250 Wh / kg. However, the presence of this energy in a vehicle reduces its safety.

One of the biggest threats when using an electric vehicle is fire. When a fire occurs during a car crash, it is easier to justify it. However, there are puzzling cases when vehicles parked for a long time in a car park are burned. Research conducted by the National Highway Traffic Safety Administration indicates that very often such vehicles were previously damaged [1].

## Calculation of specific heat and thermal dependencies resulting from it.

In order to determine the approximate thermal effect resulting from the conversion of energy contained in the battery into heat, the specific heat of the cell was determined.

The experiment assumed that there is no heat exchange with the environment. The measurements were carried out in a calorimeter using Li-ion cells (Detailed description of the experiment apparatus, measurement results, formula derivation and final calculations and discussion of errors will be included in the full version of the article).

In short – a heat balance was carried out for the case of a heavily chilled cell which was then placed in water at room temperature. The specific heat was determined from the magnitude of temperature changes. For higher accuracy, the tests were repeated with a heating medium in the form of ethanol, which has much lower specific heat than water, and thus higher temperature jumps were obtained during the measurements.

The main values measured during the experiment are T1 – initial temperature of cells, T2 – initial temperature of water, calorimeter and stirrer, T3 – final temperature after heat exchange,  $c_{Li}$  specific heat of cells;  $m_i c_i$  – mass and specific heat of the components of the experiment (water, mixer, container).

$$c_{Li} = \frac{(m_w c_w + m_{c+m} c_{Al})(T2 - T3)}{m_{Li}(T3 - T1)}$$

*After data substitution and averaging, the numerical value ( $c_{Li}$ ) of the cell specific heat was obtained.*

The next step of the analysis is the calculation of the maximum electricity stored ( $E_c$ ) in the cell. For this purpose, catalog data was used and an experimental measurement was carried out.

Estimating the amount ( $Q_g$ ) of energy needed to heat a cell to a temperature above the critical one, shows whether it is possible to ignite the cell as a result of the energy it contains. Critical temperature is understood as the temperature below which the cell should not self-ignite during safety tests.

Comparison of this energy ( $Q_g$ ) with that accumulated inside the cell ( $E_c$ ) shows that it is more than three times greater.

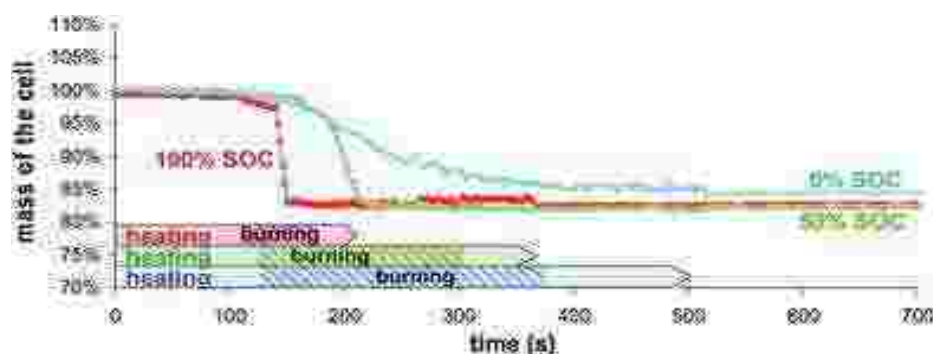
Defined for the purpose of work, the hazard factor  $C = E_c \setminus Q_g$  corresponds to the number of cells that can be further ignited as a result of the release of energy from the damaged cell.

Estimation of the hypothetical temperature ( $T_x$ ) to which the cell could heat up if there were no heat exchange with the environment and no internal destruction took place.

$$T_x = (E_c / m_{Li} * c_{Li} + T_{am} \text{ where } T_{am} \text{ – ambient temperature.}$$

It is obvious that the actual temperature ( $T_r$ ) achieved will in fact be lower, due to heat exchange with the environment and earlier decomposition of the cell. Determination of the temperature  $T_x$  is only indicative, in order to know the order size. For a single cell, this environment is other cells and components, as well as the internal cooling system of the battery. Predicting the temperature ( $T_r$ ) precisely would require a detailed knowledge of the internal structure of the battery in which the cell is mounted and the amount of heat conduction to the environment.

Interesting results of fire tests are presented in paper [2], in which a quantitative analysis of compounds emanating from a burning link as a function of time was carried out. The presented graph of cell mass decomposition speed there proves that in the case of a charged cell (100% SOC) its flammable properties are definitely higher.



**Rys. 1.** Samples mass loss during combustion as a function of time for different battery SOC

There are also studies that prove that the amount and speed of energy release in the process of cell combustion depends significantly on its State of Capacity (SOC).

## Conclusions

The amount of stored energy in a charged Li-Ion cell many times exceeds the amount sufficient for its self-ignition in the event of its release. The battery charge status increases the risk of fire due to the possibility of cell self-ignition.

A charged battery fire is much more violent than a discharged one. Cutting off the main current circuit of a high-voltage battery in the event of an accident is a safety-enhancing measure by avoiding the consequences of short circuits but only external to the battery.

Cutting off the battery does not prevent the effects of internal short circuits, and thus there is still a risk of self-ignition.

These conclusions can be the basis for the structural changes proposed in the full version of the article to increase the fire safety of batteries and, consequently, of electric vehicles.

## References

- [1] Stephens D.; Shawcross P.; et, al. "Lithium-ion battery safety issues for electric and plug-in hybrid vehicles" Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration. Report No.DOT HS 812 418. (2017).
- [2] Ribière P., Grugeon S., Morcrette M., Boyanov S., Laruelle S. Marlair G. "Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry" *Energy & Environmental Science*, 5271-5280. (2012)
- [4] IEC 62485-6 NWP- Safety requirements for secondary batteries and battery installations - Part - 6: Lithium-ion batteries for traction applications (2016)
- [5] Garche J., Brandt K *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications: Li-Battery Safety*. Elsevier, (2018)

# EVALUATION OF PLANT SPATIAL PLACEMENT BY TF POLYM SOFTWARE

Paweł FINDURA<sup>1,2</sup>, Petr BARTOŠ<sup>2</sup>, Miroslav PRISTAVKA<sup>1</sup>, Oľga URBANOVIČ<sup>1</sup>,  
Anna MIERNIK<sup>3</sup>, Paweł KIEŁBASA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Slovak University of Agriculture in Nitra

<sup>2</sup>University of South Bohemia in České Budějovice

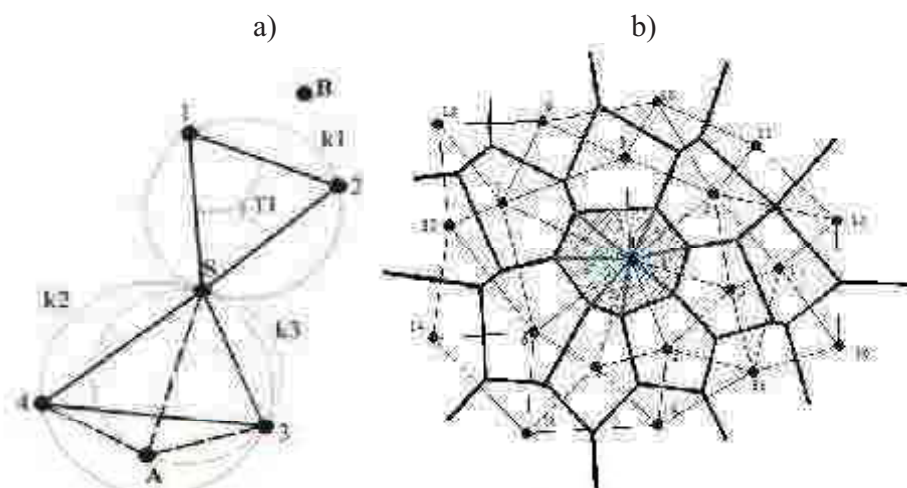
<sup>3</sup>University of Agriculture in Cracow, Faculty of Production and Power Engineering

## Introduction

Under the term quality of seeding placement we understand horizontal and vertical seeding placement in the soil at its minimal damage. Most of crops is raising in rows, so the area distribution of crops depends on spacing between rows and on horizontal placement between seeds in row. This is the main evaluative criteria at evaluation area distribution of crops in the soil. Griepentrog 1995, 1998, 1999, Hermann, Heege, 1970, Müller, Köller, 2000. SANDER-Schlinker (2002) contend the harvest is influenced by seed germination and by seeds spacing in the row. According to Weil (1990), Buchler, Köller (1990), Schmitz (2001), Szparaga et al. (2019) irregular stand and density stand have huge significance to crop weed competition. Irregular stand has negative impact on harvest and on internal quality of crops Findura (2017), Kocira et al. (2018). It is difficult to seed placement evaluation is more complicated for human labour. Living-space around crops may take the shape of polygons.

## Materials and methods

When determining a polygon, it is essential which plants that are close to the reference plant are considered to be adjacent and that they are essential for forming the polygon. Polygonal layout solutions are known for many applications in various fields. Delaunay triangulation and Thiessen or Voronoi polygons are used [QUEST, D. – BRUNOTTE, J., 1997]. According to Delaunay three adjacent points are those, which are sets on a common circle ( $k_1$ ), that doesn't contains another point, in our case crop (fig. 1a).



**Fig. 1.** a) Delaunay triangulation: 1-4, A,B,S – shown single points (crops), 1,2,S-A,S,3-A,S,4 – adjacent points, B- is no adjacent point to point S,  $k_1, k_3$ -circles, where are sets up adjacent points, T1 – centre of a circle  $k_1$ ,  $k_2$  – circle with points S,3,4, which aren't adjacent; b) Voronoi polygon decomposition: 1 to 7, A, B, S – represent individual adjacent points (plants);  $k_1$ – the circle on which the neighboring Delaunay points lie;  $a_2', a_6'$ – lengths of perpendicular projections of nodes ( $2', 6'$ ) of the polygon for the sections SB and SA;  $b_2', b_6'$ – half lengths of sections SB and SA.



Ideal field should has been circle, but it is not possible to reach ideal field by seeding machine, which we have. Circle shows for a given area smallest circuit. Its ratio, formed by the ideal and real circumference, should be used as a criterion for describing the shape deviation of the actual area from the ideal specific area (living space). For the shape evaluation of the area was introduced so-called shape factor. The ideal circumference is determined by the actual size of the polygon area and according to:

$$O_{ideal} = 3,7224\sqrt{S_i} \quad (2)$$

The actual area of the polygon  $S_i$  is obtained by summary of triangles forming the polygon (Fig. 1b). Fig. 1b Polygon spacing of points (plants): 1 to 20- spacing of points (plants); 1 'to 7' - the triangles forming the polygon formed around point 1. Seeing that the identification of the coordinates of individual seeds respectively. plant in field conditions is a laborious matter, we have replaced it by digitizing the stand. We took a picture of the growth after emergence and we evaluated it to a scale using TfPolyM software.

### Results

The software allows to evaluate different methods of seeding. The same seed quantities result in the same average area size. Polygons with the same area size can be distinguished in the shape of the area per plant. The ideal area should be in the shape of a circle, but we are not able to achieve it with current seed drills. In that the circle has the smallest circumference for a given area, the ratio formed from the ideal to the real circumference should be used as a criterion for describing the deviation of the shape of the actual area from the ideal specific area (living space).

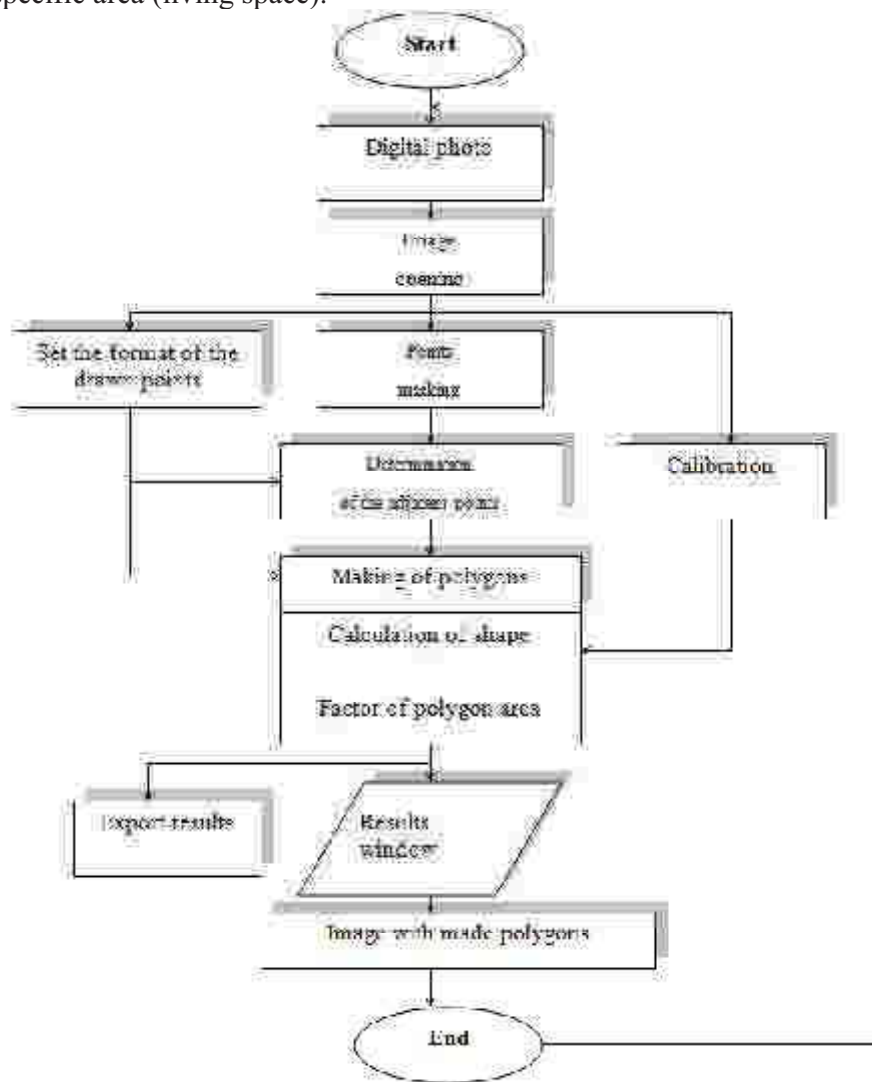


Fig. 2. Algoritmus of software

## Conclusion

The results that I present in the paper were required by the needs of practice, which was not always able to accurately orientate in the selection of suitable seed drill equipment. Producers offer different types of seeders that create living space around plants of different shapes. The evaluation criterion is usually the longitudinal misalignment of the sowing, but it cannot be used for track sowing. The evaluation criterion for characterizing the living area around a plant is a shape factor. The shape factor values vary depending on the seed drill speed. Created TFPolyM software allows to compare and evaluate different methods of sowing, which is original. The contribution was solved within the project VEGA 1/0642/18 "Analysis of the impact of structural parts of forestry mechanisms in the forest environment from the point of view of energy and ecology".

## References

- [1] Buchler W., – Köller, K. 1990. Intergrierte Bodenbearbeitung. In: Verlag E. Umter Wollgrasweg, Stuttgart 7000, 41 Jg., 1990, s. 35-57
- [2] Findura P., 2017. Hodnotenie kvality sejby. In: Inaguračná práca, SPU v Nitre, 198-200 s.
- [3] Griepentrog H., W. 1995. Längsverteilung von Sämaschinen und ihre Wirkung auf Standfläche und Ertrag bei Raps. In: Agrartechnische Forschung, 1995, Nr. 1, s. 129-136
- [4] Griepentrog H., W. 1998. Seed distribution over the area ag Eng, Oslo 1998, paper 98-A-059
- [5] Griepentrog H., W. 1999. Zur Bewertung der Flächenverteilung von Saat gut. In: Agrartechnische Forschung, 1999, Nr. 5, H 2, s. 117-124
- [6] Hermann J., Heege I. 1970. Die Kornverteilung über Bodenfläche bei der Drill- oder Breitsaat des Getreides. In: Landtechnik, 1970, Nr. 2, Bd. 20
- [7] Kocira S., Szparaga A., Kocira A., Czerwińska E., Wojtowicz A., Bronowiecka U., Koszel M., Findura P. 2018. Modeling biometric traits, yield and nutritional and antioxidant properties of seeds of three soybean cultivars through the application of biostimulant containing seaweed and amino acids. In *Frontiers in Plant Science*. 9, 388 (2018), s. 2018. ISSN 1664-462
- [8] Müller J., Kleinknecht CH., Köller K. 2000. Online Messung der Kornabstände bei Drillmaschinen (Online measurement of seed metering for seed drills)
- [9] Sander G. 2002. Mulchsaatverfahren. In: Die Zuckerrübe, 51 Jg., 2002, Nr. 2, s. 91-95
- [10] Schmitz S. 2001. Aktueller Stand der Einzelkorsätechnik. In: Die Zuckerrübe, 1 Jg., 2001, Nr. 50, s. 22-27.
- [11] Szparaga A., Tabor S., Kocira S., Czerwińska E., Kuboń M., Plociennik B., Findura P. 2019. Survivability of probiotic bacteria in model systems of non-fermented and fermented coconut and hemp milks. In *Sustainability*. 11, 21 (2019), s. 21. ISSN 2071-1050
- [12] Quest D., Brunotte J. 1997. Eine neue Generation von Saatbettkombinationen: Drei Geräte im DLG-test. In: Die Zuckerrübe, 46 Jg. 2, 1997, s. 86-91.
- [13] Weil A.N., De Kimpe C.R., Mc Kyes E. 1989. Effect of tillage reduction and fertlizer on soil macro- and microaggregation. *Canada J. Soil Sei*, 1989, Vol. 69, s. 489-500.

# DEVELOPMENT OF SOLAR-POWERED ELECTRIC VEHICLE WITH HUMAN-COMPUTER INTERACTION SOLUTIONS BASED ON AUGMENTED REALITY

Jakub FORYSIAK, Krzysztof FUDAŁA,  
Piotr KRAWIRANDA, Andrzej ROMANOWSKI

Lodz University of Technology

This paper provides a broad description of Augmented Reality based system enhancing designing, rapid prototyping and maintenance of solar-power electric vehicles. Created applications utilize the capabilities of Microsoft HoloLens AR-headset [1] and offer simplified interactions with 3D models merged into the real world. Work described in this paper was conducted within one of the biggest student projects in Poland. The project goal is to develop the most efficient solar powered electric car in terms of energy consumption per one passenger [3][4]. Designed vehicle is tested during a week-long race through Australian outback desert. High competition between the solar teams across the world creates significant pressure for seeking for the newest technologies that can be applied during the design phase of the project [2][5]. Most recently designed solar-powered electric vehicle (Eagle Two) is presented in Fig.1.



**Figure 1.** Eagle Two in Australian outback, 2019

Developed Augmented Reality [1] system supports engineers in the whole production cycle of the vehicle. In the designing stage users can check the range of motion of the mechanical parts and potential collisions of components. During testing, the application visualizes car live data on the 3D model [2] to accelerate the errors' diagnostic process. The application puts strong emphasis on instant system diagnostics by displaying only essential data, vital to proper operation of a vehicle, in a very intuitive way [2].

The system is based on AR headsets - HoloLens. HoloLens is a hands-free holographic computer released by Microsoft. Concerning capabilities of the headset, it has four cameras that are used for environment understanding, a microphone and one depth camera. These features let team build a voice-controlled application. Fig. 2 presents the example footage. The crucial part of AR application[1] is a dedicated

information and telemetry system created by the team [3][4]. Moreover, the system has proven itself to be also useful for marketing activities in improving the visibility of the car manufacturer as an innovative company [5].



**Figure 2.** Example of screen of AR application

This paper is a response to the need of innovative tools for rapid development of electromobility in Poland and around the world. It describes a system which lets engineers design faster and more user-oriented vehicles and also showed findings during development of solar-powered electric vehicles using this application. All of the findings were gathered during 3 years research with a high focus on user experience aspects in HCI area.

## Bibliography

- [1] Milgram, Paul & Kishino, Fumio. A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Trans. Information Systems*, vol. E77-D, no. 12. 1321-1329, 1994
- [2] R. Tufte, Edward & E. Katter, The Visual Display of Quantitative Information. *Professional Communication, IEEE Transactions on*, PC-27. 108-108. 10.1109/TPC.1984.6448807, 1984.
- [3] Forysiak J., Fudała K., Krawiranda P., Felcenloben J., Romanowski A., Kucharski P., Solar Power Electric vehicle information system, *International Journal of Advances in Electronics and Computer Science*, 2020 vol. 7, no 4
- [4] Forysiak J., Fudała K., Krawiranda P., Romanowski A., Ładoński P., Kuzański A., Telemetry and data visualization using augmented reality for solar powered electric vehicle', *International Journal of Electrical, Electronics and Data Communication*, 2019, vol 7, no 5,
- [5] Zielińska K., Forysiak J., Fudała K., Krawiranda P, Bakalarczyk S., Utilization of augmented reality technology in marketing activities on example of lodz solar team. *Researchfora 40th international conference*, 2019

# ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE A/D CONVERTER PARAMETERS ON THE EVALUATED TRANSFER FUNCTION OF TRANSFORMER WINDINGS

Łukasz FUŚNIK, Paweł ZYDRÓŃ, Bartłomiej SZAFRANIAK

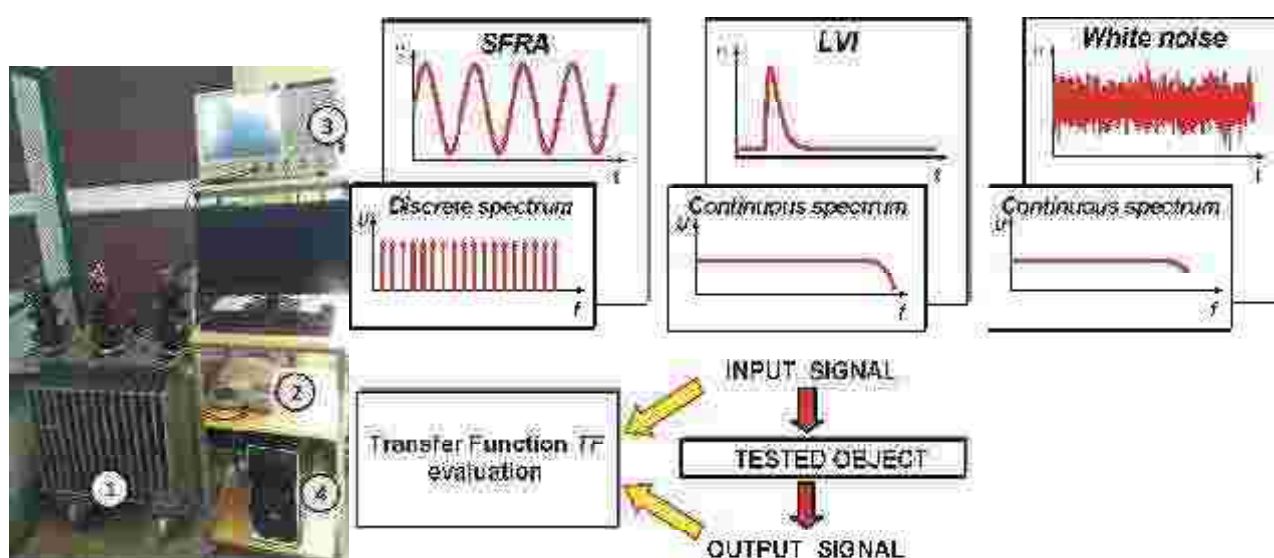
AGH University of Science and Technology

## Introduction

In the diagnostic tests of power transformers windings, the method of the transfer function TF analysis has been used for several decades. Its gradual development included introducing the various types of excitation, pulse and continuous signals into the measurement practice, as well as various digital signal processing (DSP) methods to improve the signal-to-noise ratio (SNR) and reduce the measurement uncertainty. In each case, used stimulation signals must enable estimation of the transfer function over a wide frequency range, up to not less than 2 MHz.

## Experiment

During presented research, the possibility of pseudo-white noise using for determination of the transfer function of transformer windings was analyzed. The applied testing voltage, representing pseudo-white noise, is a wideband signal with a limited corner frequency, and with energy evenly distributed between sub-bands of the spectrum. The signal energy is also evenly distributed in time, in the voltage waveform. The measurements were carried out in laboratory conditions and computer controlled (Fig. 1a). The tested object was a 3-phase 16 kVA MV transformer 15 kV / 0.4 kV. The source of the pseudo-white noise was Tektronix Arbitrary-Function Generator model AFG 2021, chosen for tests due to the suitable bandwidth of generated noise [1]. Taking into account the requirements of the IEC 60076-18 standard [2] the test signal should enable determining the characteristics of the transfer function of transformer windings in the frequency range not lower than 2 MHz.



**Fig. 1.** a) The laboratory testing stand for transformer windings' TF measurement and evaluation: 1) tested transformer, 2) pseudo-white noise generator (AFG 2021), 3) oscilloscope (DPO 7104C), 4) test controlling computer; b) The use of various excitation signals to determine the transfer function of the transformer winding

To determine the wideband transfer function characteristic of the transformer winding, measuring methods with different excitation signals (voltage waveforms) can be used (Fig. 1b). Determination of the wideband characteristic of the transformer winding can be considered as a classic problem of estimation of an unknown transfer function of a causal, linear time-invariant system (LTI class system). The transfer function is usually defined by the ratio of voltage and/or current spectra in different configurations [3-5]. Its evaluation is made by (Fig. 1b):

- discrete spectrum scanning, with analyzing sine waveform set sequentially at selected frequencies – used in Sweep Frequency Response Analysis (SFRA) method [6, 7];
- digital acquisition of signals samples in the time domain and numerical calculation of their spectra using the Fourier transform (e.g. by the FFT algorithm) for determination of the TF – used in Low-Voltage Impulse (LVI) method [8-11] and in random white noise method [1].

## Conclusion

In the off-line transfer function measurements, the SFRA method with sinusoidal stimulation is applied, as well as the method using the wideband character of transient impulse waveforms (overvoltages). As an alternative to these methods, it is proposed to use pseudo-white noise (or band noise, in the selected sub-bands) as an excitation test signal. Ultimately, the use of this stimulation is considered in on-line measurements. The results of laboratory tests indicate the possibility of using this type of signal to determine the transfer function of transformer windings.

To improve the SNR value in the white noise excitation measurements, A/D converter with higher bit resolution were used. The paper presents the measurements results and analysis the impact of the A/D converter bit resolution on the signals that are or can be used to evaluate the transformer winding transfer function. The discussion of results and conclusions are also presented.

## References

- [1] P. Zydron, M. Kuniewski, Ł. Fuśnik, “Comparison of pseudorandom white-noise generators used as signal source for wideband analysis of transformer windings impedance”, Proc. 9th Int. Sci. Symp. on Electr. Power Eng. Elektroenergetika 2017, Stará Lesná, pp. 344-348, 2017.
- [2] IEC 60076-18 – Power transformer – Part 18: Measurement of frequency response
- [3] E. Rahimpour, J. Christian, K. Feser, H. Mohseni, “Transfer function method to diagnose axial displacement and radial deformation of transformer windings”, IEEE Trans. Pow. Deliv., vol. 18, no. 2, pp. 493- 505, 2003.
- [4] M. Florkowski, J. Furgał, “Detection of transformer winding deformations based on the transfer function – measurements and simulations”, Meas. Sci. Technol., vol. 14, pp. 1986–1992, 2003.
- [5] M. Florkowski, J. Furgał, “Transformer winding defects identification based on a high frequency method”, Meas. Sci. Technol., vol. 18, pp. 2827–2835, 2007.
- [6] E. P. Dick; C. C. Erven, “Transformer diagnostic testing by Frequency Response Analysis”, IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-97, no. 6, pp. 2144-2153, 1978.
- [7] S.A. Ryder, “Diagnosing transformer faults using frequency response analysis”, IEEE Electr. Insul. Mag., vol. 17, no. 2, pp. 17-22, 2003.
- [8] W. Lech, L. Tyminski, “Detecting transformer winding damage – The low voltage impulse method”, Electr. Rev., vol. 179, pp. 768-72, 1966.
- [9] R. Malewski, B. Poulin, “Impulse testing of power transformers using the transfer function method”, IEEE Trans. Power Del., vol. 3, no. 2, pp. 476–89, 1988.
- [10] R. Malewski, A. Claudi, E Gockenbach, R. Maier, K.H. Fellmann, "Five years of monitoring the impulse test of power transformers with digital recorders and the transfer function method", CIGRE Paper no.12-201, Paris, 1992.
- [11] M. Wang, A. J. Vandermaar, K. D. Srivastava, “Condition monitoring of transformers in service by the low voltage impulse test method”, 11th Int. Symp. on High Voltage Engineering, London, vol 1, pp. 45-48, 1999.

# MONITOROWANIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ ORAZ JEJ PARAMETRÓW JAKOŚCIOWYCH W UKŁADACH ZASILANIA INFRASTRUKTURY ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Marek GAŁA, Andrzej JĄDERKO

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

## Abstract

The article describes the basic requirements for charging stations and charging points for electric vehicles and hybrid vehicles, with particular emphasis on the requirements related to the measurement and registration of electricity used to charge vehicles. The structure of the system for measuring and monitoring electricity in the power supply systems of electric vehicle charging stations, as well as measuring and monitoring parameters characterizing the power quality were presented. Selected test results obtained during vehicle charging in a public charging station are presented.

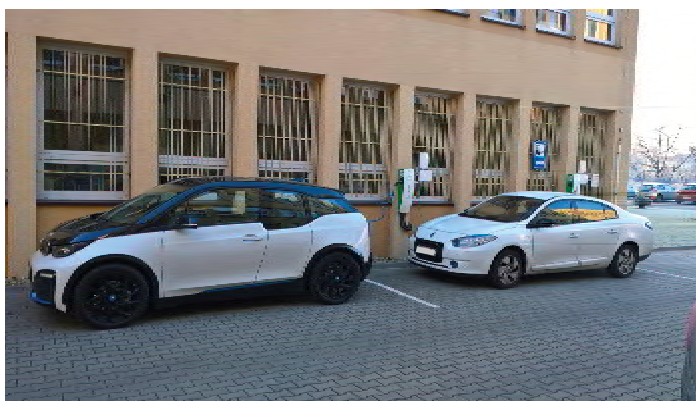
## Wstęp

Wyróżnia się dwa zasadnicze rodzaje pojazdów samochodowych wykorzystujących energię elektryczną: pojazdy elektryczne, tj. pojazdy samochodowe wykorzystujące do napędu wyłącznie energię elektryczną akumulowaną przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania oraz pojazdy hybrydowe, czyli pojazdy samochodowe o napędzie spalinowo-elektrycznym, w których energia elektryczna jest akumulowana przez podłączenie do zewnętrznego źródła zasilania [3]. Pierwsza kategoria pojazdów określana jest także jako pojazdy w pełni elektryczne (BEV, ang. *battery electric vehicles*), natomiast druga kategoria pojazdów nazywana jest pojazdami hybrydowymi typu plug-in (PHEV, ang. *plug-in hybrid electric vehicles*). Do ładowania pojazdów wymagane jest prawidłowe funkcjonowanie odpowiedniej infrastruktury w postaci punktów oraz stacji ładowania.

## Pomiary i rejestracja energii elektrycznej oraz jej parametrów jakościowych w układach zasilających punkty ładowania oraz stacje ładowania pojazdów

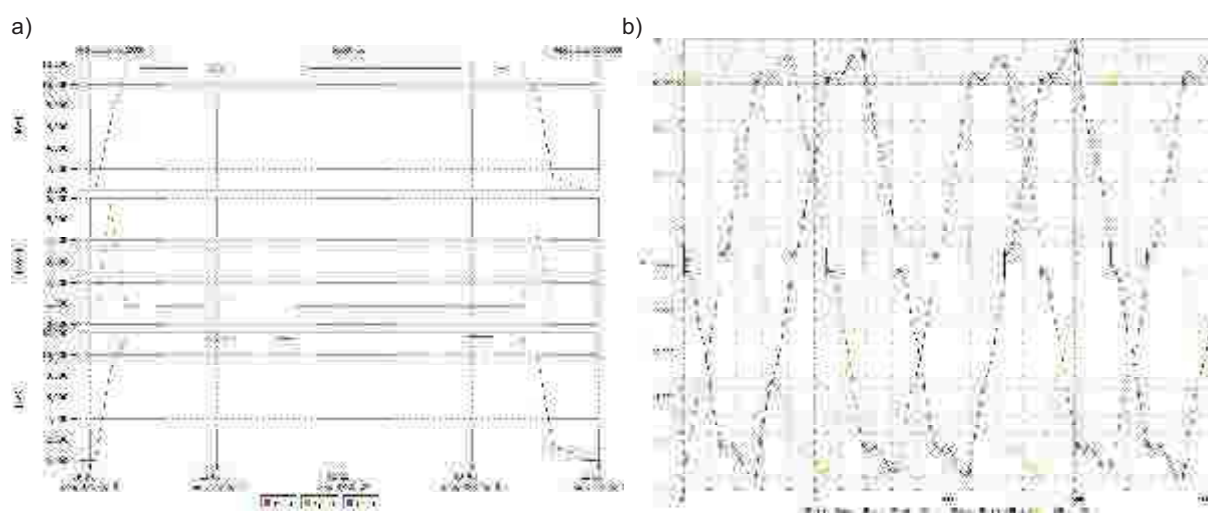
Operatorzy ogólnodostępnych stacji ładowania pojazdów elektrycznych, oprócz m.in. zapewnienia bezpiecznej eksploatacji stacji ładowania oraz zapewnienia przeprowadzania przez Urząd Dozoru Technicznego badań stacji, zobowiązani są do wyposażenia ogólnodostępnych stacji w system pomiarowy, umożliwiający pomiar zużycia energii elektrycznej i przekazywanie danych pomiarowych z tego systemu do systemu zarządzania stacją ładowania w czasie zbliżonym do rzeczywistego. Wymagane jest także rejestrowanie ilości energii elektrycznej przeznaczonej do ładowania pojazdów [3]. Punkty ładowania oraz stacje ładowania pojazdów elektrycznych oraz pojazdów PHEV stanowią z elektrycznego punktu widzenia odbiorniki nieliniowe

o relatywnie dużych mocach wynoszących zazwyczaj od kilku kilowatów do stukilkudziesięciu kilowatów. W przypadku niektórych szybkich stacji ładowania, ich jednostkowa moc wynosi 250 kW, a nawet 350 kW. Ze względu na możliwy wpływ pracy stacji ładowania na stopień degradacji jakości energii elektrycznej, systemy pomiarowo-

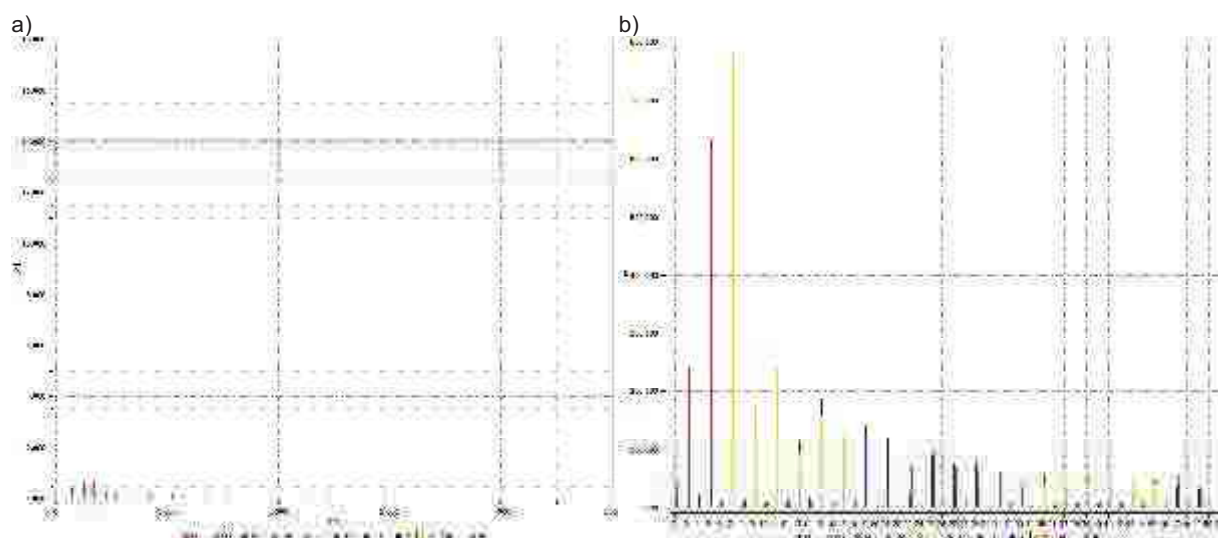


Rys. 1. Widok zespołu ładowarek ECOTAP WG2 przeznaczonych do ładowania pojazdów elektrycznych

rozliczeniowe funkcjonujące w stacjach wyposaża się dodatkowo w urządzenia zapewniające pomiar i monitorowanie parametrów jakościowych energii elektrycznej [1, 2]. W artykule przedstawiono wdrożony system pomiarowo-rozliczeniowy w przypadku istniejącej stacji ładowania składającej się z 3 podwójnych ładowarek ECOTAP typu WG2 o mocach 22 kW. Opracowany system wyposażony został w serwery energii elektrycznej, rejestratory i analizatory parametrów jakości energii elektrycznej oraz w nadrzędny serwer pełniący funkcję akwizycji, agregacji i analizy danych pomiarowych. Na rysunku 1 przedstawiono dwie z grupy ładowarek ECOTAP WG2, natomiast na rysunkach 2 i 3 zobrazowano wybrane wyniki badań podczas ładowania pojazdów.



**Rys. 2.** Ładowanie samochodu Tesla Model 3: a) moce: czynna P, bierna Q oraz pozorna S zarejestrowane w obwodzie zasilającym ładowarkę ECOTAP WG2; b) wartości chwilowe prądów zarejestrowane w obwodzie zasilającym ładowarkę ECOTAP WG2 podczas ładowania BEV



**Rys. 3.** Widmo harmonicznych prądów zarejestrowane w obwodzie zasilającym ładowarkę ECOTAP WG2 podczas ładowania samochodu Tesla Model 3: a) widmo zawierające skład. podstawowe; b) wydzielone widmo wyższych harmonicznych



### Literatura

- [1] Kattmann Ch., Rudion K., Tenbohlen S.: Detailed power quality measurement of electric vehicle charging infrastructure. CIREN - Open Access Proceedings Journal (Volume: 2017, Issue: 1, 10 2017), pp. 581-584, (DOI: 10.1049/oap-cired.2017.0834)
- [2] Pinto R. J. C., Pombo J., Calado M. R. A., Mariano S. J.P S.: An electric vehicle charging station: Monitoring and analysis of power quality. 2015 9th International Conference on Compatibility and Power Electronics (CPE), IEEE Xplore, 3 September 2015 (DOI: 10.1109/CPE.2015.7231046)
- [3] Ustawa z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych (Dz. U. z 2019, poz. 1124, tekst jedn.)

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# WPŁYW ZABURZEŃ W OBWODZIE PIECA Z ŁUKIEM ELEKTRYCZNYM NA SIEĆ ZASILAJĄCĄ

Marek GAŁA<sup>1</sup>, Antoni SAWICKI<sup>2</sup>, Kazimierz JAGIEŁA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

<sup>2</sup>Stowarzyszenie Elektryków Polskich Oddział Częstochowski

<sup>3</sup>Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

## Abstract

The article presents factors affecting the geometric distortions of arcs in AC-EAF, and also describes the impact of arc column length disturbances on the parameters of the Pentegov mathematical model of the electric arc. It uses a universal function describing static voltage-current characteristics. As a result of the simulation, dynamic voltage-current characteristics of electric arcs were determined. The effect of asymmetry and arc interference on selected parameters characterizing the power quality in the AC-EAF power supply system was investigated.

## Wstęp

Badanie wpływu zaburzeń mechanicznych i elektromagnetycznych na pracę stalowniczych pieców łukowych (AC-EAF) stanowi istotne zagadnienie ze względu na możliwy wpływ występowania tego rodzaju zaburzeń na działanie układów pomiarowych oraz układów sterowania. Trudności w skutecznym tłumieniu zaburzeń wynikają z ich dużej amplitudy, szerokiego pasma częstotliwości oraz nierzadko losowego ich charakteru. Mogą one prowadzić do zgaszenia łuku elektrycznego, co wymaga odpowiednio szybkiej reakcji układu sterowania. Niekiedy także mogą powodować wyłączenie układu zasilania oraz przerwy pracy pieca. Dlatego też niezwykle istotnym jest dokonanie doboru odpowiednich środków zmniejszających intensywność oddziaływania zaburzeń lub wywołanych przez nie skutków. Trudności w zapewnieniu wysokiej niezawodności pracy układów zasilania pieców łukowych wynikają z potrzeb technologicznych, gdyż każde odchylenie w stosunku do optymalnego stanu pracy prowadzi do zmniejszenia wydajności produkcji i zwiększenia strat energii.

## Modelowanie łuku elektrycznego z uwzględnieniem działających zaburzeń

W celu zbadania wpływu odwzorowania zaburzeń geometrycznych kolumny łuku na jego charakterystyki dynamiczne opracowano makromodel łuku bazujący na modelu Pentegowa:

$$2\theta_{i_{\theta}} \frac{di_{\theta}}{dt} + 2\theta_{i_{\theta}} \frac{\int_0^{i_{\theta}} \frac{\partial}{\partial p_a} U_{st}(i_{\theta}, p_a) di_{\theta}}{U_{st}(i_{\theta}, p_a)} \frac{dp_a}{dt} = i^2 - i_{\theta}^2 \quad (1)$$

Wartość napięcia kolumny łuku określono z wykorzystaniem charakterystyki statycznej:

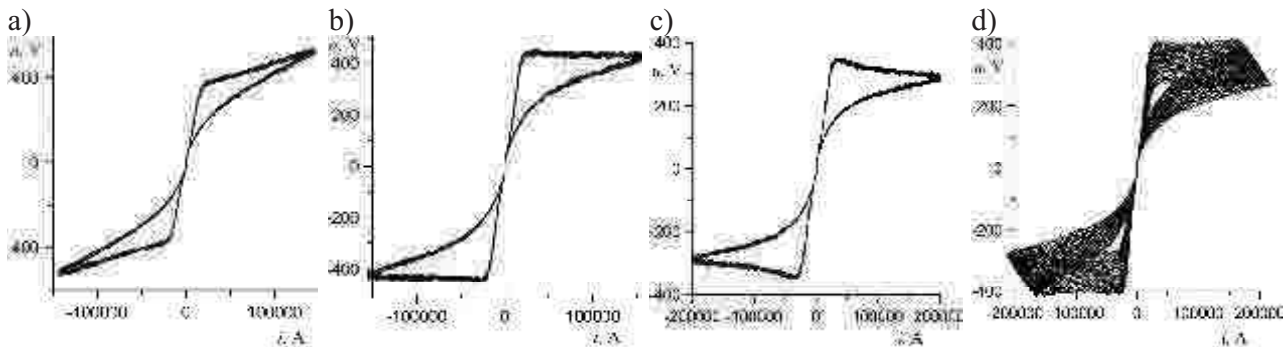
W ostatecznych rozważaniach uwzględniona została następująca zależność na zmianę długości kolumny  $\Gamma_l(t)$ :

$$l_c(t) = (1 + \Gamma_l(t)) \cdot l \quad (3)$$

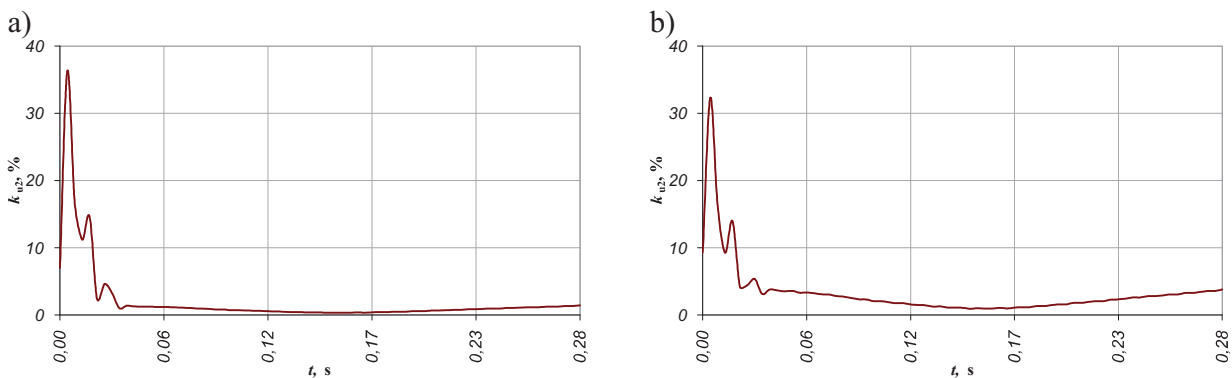
gdzie:  $l$  – zadana długość łuku.

Zastosowany model uwzględnia zmiany funkcji mocy, napięcia i rezystancji wywołane zaburzeniami okresowymi i losowymi, a także stanowi trójfazowe obciążenie w utworzonym modelu rzeczywistego układu zasilania pieca łukowego, uwzględniającym pracę układu filtrów wyższych harmonicznych wraz z zamodelowanym torem wielkopiętowym.

Na rysunku 1 przedstawiono charakterystyki dynamiczne łuków z wprowadzonym zakłóceniem losowym (wartość średnia 0, wariancja  $2 \cdot 10^{-2}$  m). W przypadkach a) - c) (rys. 1) długość łuku była stała i wynosiła 0,16 m, natomiast suma przyelektrodowych spadków napięcia miała wartość 18 V. W przypadku zaprezentowanym na rysunku 1 d) początkowa długość łuku wyniosła 0,1 m i był on rozciągany z prędkością 0,2 m/s w czasie 0,5 s. Zakłócenia wpływają na działanie aparatury kontrolno-pomiarowej i dlatego powinny być one minimalizowane oraz filtrowane. W zależności od stadium wytopu stali w piecu łukowym zmieniają się warunki płonienia łuków. Z reguły dotyczą one jednocześnie wszystkich trzech łuków. Zdarzają się tu jednak przypadki asymetrii, skutkujące nierównomiernym nagrzewaniem i topieniem. Dlatego układy regulacji i nadzorujący je operatorzy podejmują działania wydłużające lub skracające kolumny plazmowe. Niezależne napędy przemieszczania elektrod umożliwiają zbiorowe lub niemal indywidualne oddziaływania na każdy łuk.



**Rys. 1.** Dynamiczne charakterystyki napięciowo-prądowe łuku elektrycznego: a) ( $l_0 = 0,2$  m,  $n_{ul} = 0,8$ ,  $n_{rl} = 0,6$ ,  $I_M = 2 \cdot 10^4$  A,  $\theta = 3 \cdot 10^{-4}$  s): a) o parametrach ( $n_{pl} = 0,4$ ,  $P_l = 20$  W,  $U_l = 300$  V,  $R_l = 0,002$   $\Omega$ ); b) ( $n_{pl} = 0,8$ ,  $P_l = 5000$  W,  $U_l = 400$  V,  $R_l = 0,0005$   $\Omega$ ); c) ( $n_{pl} = 0,4$ ,  $P_l = 20$  W,  $U_l = 300$  V,  $R_l = 0,0001$   $\Omega$ ); d) ( $n_{pl} = 0,4$ ,  $P_l = 20$  W,  $U_l = 300$  V,  $R_l = 0,0005$   $\Omega$ )



**Rys. 2.** Wartości wskaźnika sumarycznego asymetrii podczas rozciągania jednego łuku oraz występowania zaburzeń okresowych i stochastycznych: a) po stronie pierwotnej transformatora piecowego, b) po stronie wtórnej transformatora sieciowego

## Literatura

- [1] Gała M., Sawicki A., Jagieła K., Rak J.: Wpływ procesów inicjacji i gaszenia łuków w piecach łukowych ac na stany asymetrii układu zasilania. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej, 2019, nr 67, s. 105-109 (DOI: 10.32016/1.67.22)
- [2] Gała M., Sawicki A., Jagieła K.: Modeling of asymmetrical operating states of AC-EAF furnaces in the power system XXIX Sympozjum Środowiskowe PTZE Zastosowania Elektromagnetyzmu we Współczesnej Inżynierii i Medycynie. Janów Podlaski 2019, 9-12 czerwiec 2019. (IEEE Xplore Digital Library, DOI: 10.23919/PTZE.2019.8781701)

- [3] Sawicki A.: The universal Mayr-Pentegov model of the electric arc. *Przegląd Elektrotechniczny (Electrical Review)*, R. 94, nr 12/2019, pp. 208-211 (DOI:10.15199/48.2019.12.47)
- [4] Пентегов И.В., Сидорец В.Н. Сравнительный анализ моделей динамической сварочной дуги. *Автомат. Сварка*, 1989, № 2 (431), 33-36. I.V. Pentegov and V.N. Sydorets: Comparative analysis of models of dynamic welding arc. *The Paton Welding Journal*, 2015, no. 12, pp. 45-48
- [5] Sawicki A.: Modelling the Effect of External Disturbances in Static Characteristics of Unspecified and Determined Ignition Voltages on Dynamic Characteristics of Arc in a Circuit with the Current Source. Part. 1. Primary Analytical Correlations (DOI: 10.17729/ebis.2019.2/6)

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# SYSTEMY ZASILANIA, MAGAZYNOWANIA I INTELIGENTNEGO UŻYTKOWANIA ENERGII ELEKTRYCZNEJ W BUDYMKACH ZEROENERGETYCZNYCH

Marek GAŁA<sup>1</sup>, Rafał WYCZÓŁKOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

## Wstęp

Jednym z podjętych wyzwań przez Unię Europejską jest zapewnienie zrównoważonego rozwoju, konkurencyjnego, bezpiecznego i niskoemisyjnego systemu energetycznego do roku 2050, w ramach którego jednym z długoterminowych celów jest zasadnicza redukcja emisji gazów cieplarnianych i dekarbonizacja zasobów budowlanych, odpowiedzialnych za około 36% całkowitej emisji CO<sub>2</sub> w krajach Unii Europejskiej [2, 3]. Osiągnięcie przyjętego celu wymaga nie tylko wnoszenia budynków niemal zeroenergetycznych, zeroenergetycznych oraz plus energetycznych, lecz także dokonywania sukcesywnej modernizacji i renowacji istniejących budynków, z zastosowaniem nowoczesnych i wysokoefektywnych systemów służących poprawie charakterystyki energetycznej budynków.

## Systemy zasilania, wytwarzania i magazynowania energii elektrycznej w budynkach inteligentnych

Nowoczesne systemy i instalacje przeznaczone do stosowania w budynkach inteligentnych (IB, ang. *Intelligent Building*; SH, ang. *Smart Home*) zapewniają współpracę i wzajemną komunikację wybranych odbiorników energii elektrycznej, układów zasilania budynków, instalacji wytwarzających i magazynujących energię, instalacji oświetleniowej, systemów ogrzewania, wentylacji i klimatyzacji stosowanych w budynkach. Zapewniają także aktywną reakcję na zmieniające się warunki i oczekiwania użytkowników budynków, a także pozwalają na współpracę z siecią energetyczną Smart Grid w celu zapewnienia niemal zerowego zapotrzebowania na energię elektryczną z sieci elektroenergetycznej oraz wdrożenia mechanizmów sterowania popytem, przy jednoczesnym zapewnieniu komfortu użytkownika, wykorzystaniu energii pochodzącej ze źródeł odnawialnych w budynkach, magazynowaniu energii elektrycznej i zapewnieniu wymaganej efektywności energetycznej budynków [1, 4, 5].

Zgodnie z dyrektywa [3] wprowadzony został tzw. wskaźnik gotowości budynku (SRI, ang. *Smart Readiness Indicator*), opisujący zdolność budynku lub modułu budynku do dostosowania jego funkcjonowania do potrzeb użytkownika i sieci oraz do poprawy jego efektywności energetycznej i ogólnej charakterystyki. SRI informuje o gotowości budynku do obsługi i współpracy z inteligentnymi sieciami, w celu między innymi wdrożenia mechanizmów sterowania popytem, jako jednego z narzędzi kształtowania i redukcji zapotrzebowania na energię elektryczną [6].

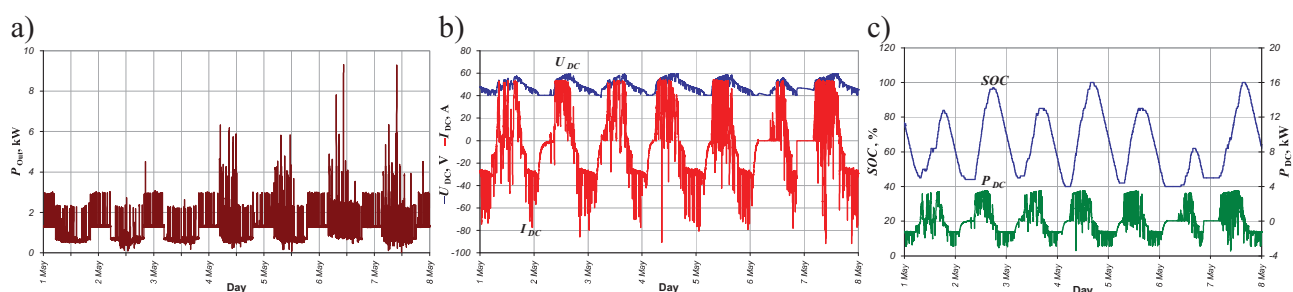
Systemy zasilania przeznaczone do stosowania w inteligentnych budynkach zapewniają dostarczanie energii elektrycznej o wymaganych parametrach jakościowych i niemal całkowite ograniczenie przerw w dostawie energii elektrycznej.

W artykule przedstawiono przykładowy system przeznaczony do zasilania budynku inteligentnego, wyposażony w instalację fotowoltaiczną o mocy 30 kW oraz magazyn energii elektrycznej 25 kWh wraz z inteligentnym systemem pomiarowym, zarządzania przepływem energii i monitorowania pracy instalacji fotowoltaicznej oraz magazynu energii elektrycznej. Zaprezentowano również wyniki badań charakteryzujące sposób wykorzystania w budynku dostępnej energii elektrycznej oraz wybrane jej

parametry jakościowe. Na rysunku 1 przedstawiono wykres obrazujący źródłach pochodzenia energii elektrycznej zużytej w budynku w analizowanym okresie, natomiast na rysunku 2 zobrazowano wybrane



Rys. 1. Graficzne zestawienie informacji o źródłach pochodzenia energii elektrycznej zużytej w budynku



Rys. 2. Wybrane dane zarejestrowane przez system zasilania i zarządzania przepływami energii elektrycznej w budynku inteligentnym: a) moc pobrana z systemu zasilania i zużyta przez odbiorniki energii elektrycznej  $P_{Out}$ ; b) napięcie  $U_{DC}$  i prąd  $I_{DC}$  w obwodzie magazynu energii; c) poziom naładowania magazynu energii elektrycznej  $SoC$  (ang. *State of Charge*) oraz moc pobierana i oddawana z/do magazynu energii  $P_{DC}$

## Literatura

- [1] Dechnik, M., Moskwa, S.: Smart House - inteligentny budynek – idea przyszłości. Przegląd Elektrotechniczny, R. 93, nr 9/2017, s. 1-10 (DOI:10.15199/48.2017.09.01)
- [2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/31/UE z dnia 19 maja 2010 r. w sprawie charakterystyki energetycznej budynków
- [3] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/844 z dnia 30 maja 2018 r. zmieniająca dyrektywę 2010/31/UE w sprawie charakterystyki energetycznej budynków i dyrektywę 2012/27/UE w sprawie efektywności energetycznej

- [4] Gała M.: Inteligentny budynek. Wykład przeznaczony dla studentów Wydziału Elektrycznego Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2020
- [5] Parol M., Stepaniuk M.: The Installations and Systems in Intelligent Buildings as an Element of Smart Cities Concept. 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), 27-29 June 2018, IEEE Xplore, 24 September 2018 (DOI: 10.1109/EEM.2018.8469887)
- [6] VITO, OFFIS, ECOFYS, Support for setting up a Smart Readiness Indicator for buildings and related impact assessment. Second progress report. 2017/SEB/R/1610684. 12 June 2018 ([https://smartreadinessindicator.eu/sites/smartreadinessindicator.eu/files/sri\\_secondprogressreport\\_final\\_0.pdf](https://smartreadinessindicator.eu/sites/smartreadinessindicator.eu/files/sri_secondprogressreport_final_0.pdf))

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# MODYFIKACJA ZAWARTOŚCI BARWNIKÓW W KIEŁKACH CZERWONEJ KONICZYNY Z WYKORZYSTANIEM PEF

Ilona GAŁĄZKA-CZARNECKA<sup>1</sup>, Ewa KORZENIEWSKA<sup>2</sup>,  
Andrzej CZARNECKI<sup>1</sup>, Jacek STAŃDO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Instytut Technologii i Analizy Żywności,  
Wydział Biotechnologii i Nauk o Żywności, Politechnika Łódzka

<sup>2</sup> Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej, Wydział Elektrotechniki,  
Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Politechnika Łódzka

<sup>3</sup> Centrum Nauczania Matematyki i Fizyki, Politechnika Łódzka

Kiełkiem nazywa się zarodek, który przebił się przez okrywą nasienną i wykształcił system (korzeniowy i liścienie) do samodzielnego odżywiania. Rozporządzenie Komisji UE 208/2013 z dnia 11 marca 2013 r. definiuje kiełki jako produkt uzyskany w wyniku kiełkowania nasion i ich rozwoju w wodzie lub innym nośniku, zbierany przed wykształceniem się właściwych liści i przeznaczony do spożycia w całości, włącznie z nasionami [1]. W trakcie kiełkowania nasion wskutek intensywnego metabolizmu wzrasta zawartość witamin i mikroelementów, związków bioaktywnych (w tym barwników roślinnych np. karotenoidów).

Do wytworzenia młodych jadalnych siewek (kiełków) można wykorzystać nasiona roślin należących do rodziny *Fabaceae* (bobowate), czyli koniczynę czerwoną (*Trifolium pratense* L), która jest rośliną o bardzo dużym znaczeniu użytkowym dla człowieka, a jako skiełkowana zyskuje stopniowo uzasadnioną badaniami naukowymi [2-5] popularność. Choć na tle innych nasion przeznaczonych do kiełkowania nadal jest niewiele publikacji na ich temat. Obecnie na świecie najszerszej wykorzystuje się koniczynę czerwoną jako roślinę pastewną, coraz powszechniej jako składnik preparatów farmaceutycznych i suplementów. Jest to efektem zawartości związków biologicznie czynnych między innymi fitoestrogenów, roślinnych odpowiedników estrogenu [3] i wielu innych związków w tym między innymi karotenoidów, które należą do silnych przeciwutleniaczy [5]. Karotenoidy w diecie odgrywają znaczącą rolę w zapewnieniu i utrzymaniu zdrowia człowieka, ich prozdrowotny właściwości są bardzo szerokie. Karotenoidy rozpuszczają się w tłuszczach. Proces ten ma wpływ na wiele biologicznych procesów, takich jak fotosynteza, zdolność widzenia, czy zmiatanie wolnych rodników i tlenu singletowego [6].

Innowacyjnym zagadnieniem jest modelowanie zawartości związków biologicznie aktywnych w surowcach roślinnych, w tym także nasion z wykorzystaniem impulsowego pola elektrycznego (PEF). Wykazano, że zastosowanie PEF w obróbce wstępnej winogron czerwonych skutkuje większą zawartością związków barwnych (antocyjanów) o znaczeniu prozdrowotnym [5,7,8] W innych badaniach wykazano ponadto, że stosowanie PEF przed procesem winifikacji sprzyja większej zawartości związków polifenolowych (a w tym flawonoidów i antocyjanów) w winach otrzymanych z winogron odmian ciemnych Marcheal Foch [9,10].

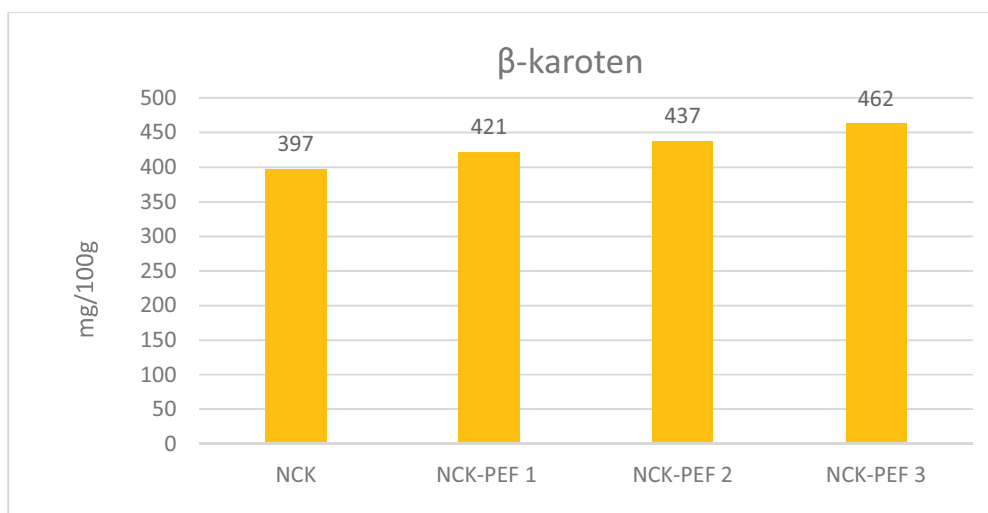
W doświadczeniu postawiono hipotezę badawczą, że możliwa jest modyfikacja zawartości karotenoidów w kiełkujących nasionach koniczyny czerwonej (*Trifolium pratense* L.) poddając nasiona działaniu impulsowego pola elektrycznego (PEF) przed uprawą. Materiałem badawczym były nasiona koniczyny czerwonej (*Trifolium pratense* L.) odmiany 'Rozeta'. Kiełkowanie nasion prowadzono na specjalistycznych perforowanych foremkach z tworzywa PP w dwóch wariantach:



1 – nasiona czerwonej koniczyny (NCK)

2 – nasiona czerwonej koniczyny poddane działaniu PEF przed uprawą (NCK-PEF 1, NCK-PEF 2,5, NCK-PEF 5)

Kielki czerwonej koniczyny po zbiorze były rozdrabniane w młynku IKA z ciekłym azotem. Bezpośrednio po rozdrobnieniu przeprowadzano ekstrakcję i oznaczenie zawartości karotenoidów z wykorzystaniem metody HPLC. Oznaczono zawartość  $\beta$ -karotenu, luteiny i zeaksantynę. Na rys. 1 przedstawiono zawartość  $\beta$ -karotenu w 7-dniowych kiełkach czerwonej koniczyny.



Rys. 1. Zawartość  $\beta$ -karotenu mg/100g w 7-dniowych kiełkach czerwonej koniczyny

Zaobserwowano, że poddanie nasion działaniu PEF przed uprawą wpływa korzystnie na zawartość barwników karotenoidowych. Można zatem stosując obróbkę wstępną PEF modelować zawartość tych bioaktywnych związków w kiełkach czerwonej koniczyny.

#### Literatura:

1. Rozporządzenie wykonawcze Komisji UE 208/2013 z dnia 11 marca 2013 r. w sprawie wymogów dotyczących możliwości śledzenia kiełków i nasion przeznaczonych do produkcji kiełków. Dz. Urz. UE L 68 z 12.03.2013.
2. Brzozowska E., Gałązka-Czarnecka I., Krala L.: Wpływ rozproszonego promieniowania słonecznego na wybrane właściwości kiełków koniczyny czerwonej (*Trifolium pratense* L.), ŻYWNOŚĆ. Nauka. Technologia. Jakość, 2014, 6 (97), 67– 80
3. Budryn G., Gałązka-Czarnecka I., Brzozowska E., Grzelczyk J., Mostowski R., Żyżelewicz D., Cerón-Carrasco JP., Pérez-Sánchez H. Evaluation of estrogenic activity of red clover (*Trifolium pratense* L.) sprouts cultivated under different conditions by content of isoflavones, calorimetric study and molecular modelling. Food Chem. 2018, 245, 324-336
4. Budryn G., Klewicka E., Grzelczyk J., Gałązka-Czarnecka I., Mostowski R., Lactic acid fermentation of legume seed sprouts as a method of increasing the content of isoflavones and reducing microbial contamination, Food Chem. 2019, 285, 478-484
5. Gałązka-Czarnecka I., Korzeniewska E., Czarnecki A., Kielbasa P., Drózd T., Modelling of Carotenoids Content in Red Clover Sprouts Using Light of Dierent Wavelength and Pulsed Electric Field, Appl. Sci. 2020, 10, 4143, 1-15
6. Odriozola-Serrano I, Soliva-Fortuny R, Hernández-Jover T i wsp. Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. Food Chem 2009; 112:258-66

7. Gałązka-Czarnecka I., Korzeniewska E., Czarnecki A., Modification of antioxidant activities in wines using pulsed electric field, IEEE, Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE), 2019, 30-33.
8. Korzeniewska E., Gałązka-Czarnecka I., Czarnecki A., Piekarska A., Krawczyk A., Wpływ Impulsowego Pola Elektrycznego na zawartość antocyjanów w winie, Przegląd Elektrotechniczny, 2018, 94 (1)
9. Gałązka-Czarnecka I., Korzeniewska E., Czarnecki A.: Impact of pulsed electric field on the colour of wine made from grapes Marechal Foch variety. IEEE Xplore, 2018, 33-36
10. Gałązka-Czarnecka I. K., Korzeniewska E., Czarnecki A.: Influence of pulsed electric field on the content of polyphenolic compounds in wine. IEEE Xplore, 2018, 37-40

# BADANIA PROSTOWNIKA 6T W WARUNKACH ZMIENNEJ CZĘSTOTLIWOŚCI I WARTOŚCI NAPIĘCIA WEJŚCIOWEGO

Patryk GAŁUSZKIEWICZ<sup>1</sup>, Zbigniew GAŁUSZKIEWICZ<sup>1,2</sup>, Sebastian DUDZIK<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Częstochowa

<sup>2</sup> MEGATECH Technology Sp zoo, Kalety

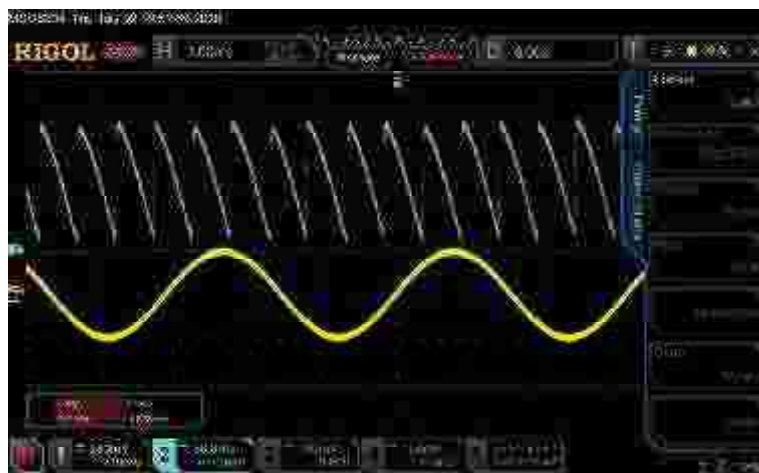
Prostowniki wykorzystywane do regulacji wyjściowego napięcia stałego, najczęściej zasilane są ze źródeł napięcia przemiennego o wartości skutecznej zmieniającej się w zakresie +/-10% wartości nominalnej, oraz stałej częstotliwości, najczęściej 50 Hz lub 60 Hz, zgodnie z normami stosowanymi w energetyce [4]. W pracy przedstawiono badania prowadzone w kierunku innowacyjnego systemu zwiększenia ilości odzyskiwanej energii z kinetycznego magazynu energii zbudowanego na bazie bezszczotkowego silnika/prądnicy (mogen) PM BLDC, powyżej ilości uzyskiwanych w ramach dotychczas opisywanych rozwiązań [1]. W systemie zaproponowanym w niniejszej pracy występuje stałe napięcie wyjściowe o wartościach w granicach +/- 10% napięcia nominalnego, natomiast napięcie zasilające jest napięciem przemiennym trójfazowym o częstotliwości zmieniającej się w zadanym zakresie. Opisywany prostownik jest więc przystosowany do regulacji zmiennofazowej dla napięć wejściowych o zmiennej amplitudzie i częstotliwości [2].

W artykule zaprezentowano wyniki pomiarów wielkości występujących w torze silnoprądowym opisywanego prostownika przedstawionego na rys. 1.



Rys. 1. Badany prostownik

Dodatkowo zaprezentowano wyniki rejestracji charakterystyk prostownika uzyskanych dla różnych częstotliwości i wartości napięć wejściowych. Przykładowe charakterystyki pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Przykładowe przebiegi czasowe na wyjściu badanego prostownika

Pomiary przeprowadzono w oparciu o system pomiarowo-sterujący NI cDAQ-9132 firmy National Instruments współpracujący z autorskim oprogramowaniem do akwizycji danych w czasie rzeczywistym. Dodatkowo, w skład systemu wchodziły generatory napięcia trójfazowego o regulowanym napięciu wyjściowym i częstotliwości, a także zestaw sond prądowych i napięciowych z izolacją galwaniczną oraz przekładniki prądowe i napięciowe [3]. W pracy sformułowano wnioski pozwalające na opracowanie nowych metod sterowania, maksymalizujących ilość energii odzyskiwanej z kinetycznego magazynu energii.

#### Literatura

1. Barlik R., Nowak M.: *Energoelektronika – Elementy, podzespoły, układy*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2014,
2. Gałuszkiewicz Z., Sutkowski M.: *System przetwarzania, magazynowania i zwrotu energii elektrycznej KAPS*, patent nr P 225294, zarejestrowany w Urzędzie Patentowym RP, 2020,
3. Łastowiecki J.: *Układy pomiarowe prądu w energoelektronice*. Centralny Ośrodek Szkolenia i Wydawnictw SEP, Warszawa 2003,
4. Piróg S.: *Energoelektronika – układy o komutacji sieciowej i o komutacji twardej*. Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-dydaktyczne, Kraków 2006

# OCENA EFEKTYWNOŚCI INWESTYCJI W SIECIACH ŚREDNIEGO I NISKIEGO NAPIĘCIA PRZY WYKORZYSTANIU METODY TAKSOMETRYCZNEJ

Anna GAWLAK

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki

## Wprowadzenie

Sieć elektroenergetyczna powinna spełniać podstawowe wymagania dotyczące przede wszystkim wysokiej jakości dostarczanej energii elektrycznej i niezawodności zasilania odbiorców, a także dawać się łatwo przystosowywać do zasilania nowych odbiorców i wzrastających obciążeń sieci oraz zapewniać bezpieczeństwo obsłudze i użytkownikom.

Stan sieci dystrybucyjnej ma zasadnicze znaczenie dla zrównoważonego rozwoju kraju i zapewnienia bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej. Rozwój infrastruktury elektroenergetycznej musi być ściśle skorelowany ze wzrostem gospodarczym, który wymusza zwiększone zapotrzebowanie na energię elektryczną, z rozwojem źródeł rozproszonych, w tym szczególnie energetyki wiatrowej oraz z celami i priorytetami krajowych oraz unijnych dokumentów strategicznych [1,2]. Dlatego też sieci energetyczne powinny być eksploatowane, projektowane, budowane lub modernizowane tak, aby:

- były niezawodne w działaniu;
- pozwoliły na przesył energii o określonej jakości;
- były bezpieczne dla środowiska naturalnego;
- nie stwarzały zagrożenia dla osób postronnych i służb eksploatacyjnych;
- były powtarzalne co do rozwiązań konstrukcyjnych;
- nie były uciążliwe w eksploatacji (dostęp do stanowisk słupowych, kabli);
- umożliwiały w przyszłości łatwą rozbudowę lub modernizację;
- nie powodowały zbędnych konfliktów pomiędzy właścicielem nieruchomości a Spółką Dystrybucyjną.

W tabeli 1 przedstawiono strukturę wiekową wybranych elementów sieci dla pięciu największych Operatorów Sieci Dystrybucyjnej.

**Tabela 1.** Struktura wiekowa elementów sieci dystrybucyjnej [3]

	>40 lat	25-40 lat	10-25 lat	<10 lat
Linie napowietrzne SN	37	39	17	7
Linie kablowe SN	16	24	28	31
Stacje Sn/nN	28	32	22	19
Transformatory SN/nN	15	29	25	31
Linie napowietrzne nN	31	35	21	13
Linie kablowe nN	13	25	31	31

Zaprezentowana struktura wiekowa elementów systemu elektroenergetycznego wskazuje, że sieć elektroenergetyczna jest stara. Około 50% sieci ma powyżej 25 lat, a około 30% powyżej 40 lat. Należy więc w szerszym zakresie modernizować infrastrukturę sieciową. Obecne sieci dystrybucyjne i przesyłowe powodują bowiem duże straty energii i mają ograniczoną niezawodność. Rozwijają się więc metody służące ocenie efektywności inwestycji.

### **Wykorzystanie metody taksonomicznej do oceny efektywności inwestycji**

Metody taksonomiczne są w zasadzie stosowane w ekonometrii do badania zjawisk czysto ekonomicznych [4,5,6]. Ich zastosowanie w badaniach nad jednostkami o silnych związkach technicznych, wymaga wprowadzenia konkretnych korekt, polegających między innymi na obiektywizacji parametrów

Aby przeprowadzić analizę porównawczą, należy:

- Wytypować parametry najistotniejsze dla oceny.
- Otrzymać je w takiej formie, aby były możliwie mało zależne między sobą.
- Włączyć do nich inne, mniej istotne, tak aby ich nie pominąć.
- Zobiektywizować.

Coraz częściej przy planowaniu inwestycji bierze się pod uwagę nie tylko aspekty techniczne i ekonomiczne, ale także środowiskowe. Bardzo ważną kwestią jest wybór odpowiednich parametrów, które potem będą podstawą oceny opłacalności inwestycji. Parametry techniczne, które wzięto pod uwagę są następujące: długość linii napowietrznej i kablowej średniego i niskiego napięcia, gęstość obciążenia, liczba i moc transformatorów SN/Nn, współczynnik obciążenia transformatorów oraz straty energii w tych elementach. Parametry ekonomiczne to: wartość bieżąca netto, zdyskontowany okres zwrotu oraz wewnętrzna stopa zwrotu. Parametry środowiskowe obejmują zagadnienia związane z ochroną środowiska m.in. wpływ na krajobraz.

### **Podsumowanie**

Zaproponowana w metoda stanowi praktyczne narzędzie do wykonania oceny efektywności inwestycji sieciowych i może być wykorzystana w zastosowaniach komercyjnych. Wykorzystanie taksonomicznej metody pozwala na uwzględnienie kryteriów oceny, które w podejściu klasycznym są pomijane.

### **Literatura**

- Gawlak A., *The Influence of Investment on Reducing Energy Losses in Distribution Networks*, in Proc. 16th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, (2015), pp. 315-319
- Kolcun M., Kornatka M., Gawlak A. and Čonka Z., *Benchmarking the reliability of medium-voltage lines*, Journal of Electrical Engineering vol. 68 (3), (2017), 212-215  
[www.ptpiree.pl/examples/raport\\_2018](http://www.ptpiree.pl/examples/raport_2018)
- Gawlak A., *Technological aspects of electrical energy distribution*, in Proc. 14<sup>th</sup> International Scientific Conference Electric Power Engineering, (2014), 45-48
- Gawlak A., *Noninvestment Forms of Reducing Energy Losses in Distribution Networks*, in Proc. 8th International Scientific Symposium on Electrical Power Engineering, (2015), 61-64
- Gawlak A., *Podział środków inwestycyjnych na rozwój sieci rozdzielczych przy zastosowaniu metody taksonomicznej*, Przegląd Elektrotechniczny, R.85 nr 3 (2009), 157-160
- Gawlak A., Dudek G., Szkutnik J., Kornatka M., *Analysis of Smart Meter Data for Electricity Consumers*, 15th International Conference on the European Energy Market (EEM), Łódź 2018

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# PERFORMANCE AND CHARACTERISTICS OF A HYBRID INDUCTION MOTOR WITH MAGNETIC FREQUENCY CHANGER

Ryszard GOLEMAN

Lublin University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science,  
Department of Electrical Engineering and Electrotechnologies

## Introduction

Analysing the different structures of frequency converters and their electrical connections, it can be seen that there is a possibility to adapt them to the development of new geometric magnetic circuits for three-phase powered hybrid motors. It is possible to consider motors with the non-salient and projecting poles. For the former and small engine powers, this is sufficient. This is also due to the technological solutions, easy adaptation and the possibility of shaping the magnetic core of the frequency converter so as to create a magnetic field of increased frequency in the air gap of the motor.

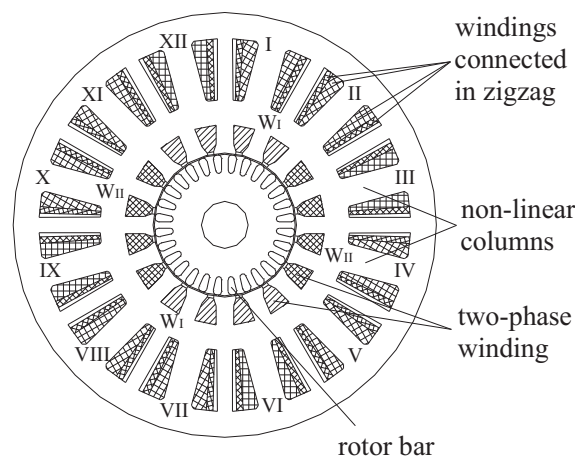
In these constructions, the flux of the third harmonic produced in the converter is closed by the motor gap, which reduces its value. Better energy indicators can be obtained by modifying the structure of the magnetic circuit, creating a path of lesser reluctance for the flux of the third harmonic through the introduction of slots to accommodate the windings supplied by the converter.

The article presents the structure of a hybrid motor (Fig. 1) and its characteristics.

## Hybrid motor structure and its characteristics

The stator and rotor are formed from packets of non-oriented electromagnetic sheet steel.

The rotor cage is made of 28 aluminium rods. The basic element of the motor is a magnetic circuit formed from non-linear elements in which the flux is distorted.



**Fig. 1:** Cross section of a three-phase hybrid induction motor, I, II, ... XII - non-linear columns, WI, WII - two-phase winding

The stator's magnetic circuit has 12 saturated columns on which the frequency converter windings are placed. Four groups of columns can be distinguished, each of these groups consists of three columns, creating a system that generates third harmonic magnetic fluxes.

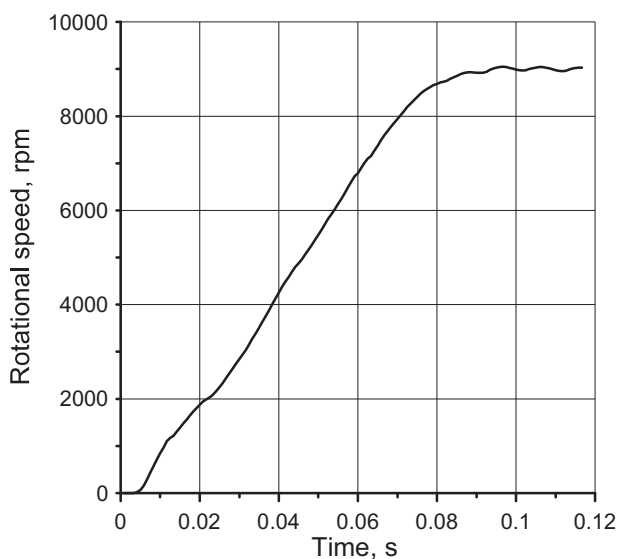
These fluxes may be closed by columns of smaller cross-sections, which are arranged alternately with non-linear columns. The windings of the non-linear columns are powered from a three-phase mains and will form a system of two frequency converters. The windings of the frequency converters are connected in a zigzag (Figure 10).

In the corresponding columns of each transducer, the magnetic fluxes of the basic harmonic are shifted by  $15^\circ$  in the first and  $-15^\circ$  in the second, respectively, in relation to the hypothetical flux of the system in which the windings are connected into a star. In comparison, the magnetic fluxes of the third harmonic will be shifted by  $45^\circ$  and  $-45^\circ$  respectively, and in relation to each other by  $90^\circ$ .

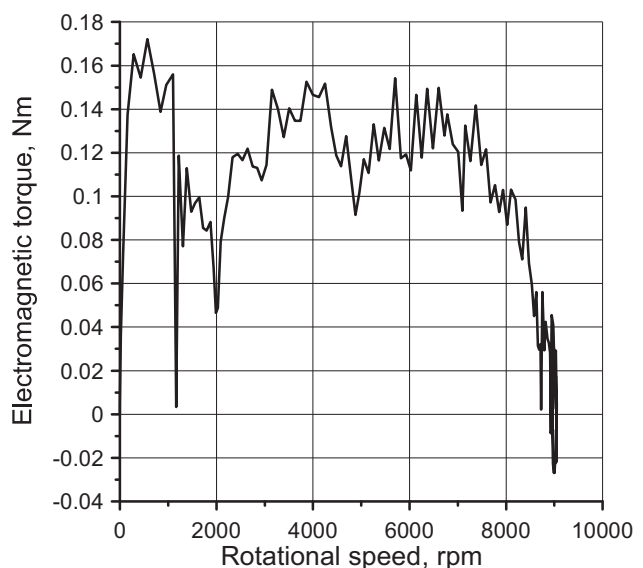
In 16 stator slots there is a symmetrical two-phase winding, with the number of pole pairs  $p = 1$ . Each coil has two windings. The windings of the two phases are shifted  $90^\circ$  to each other and connected between the neutral point of the network (N) and the neutral points of the windings connected in a zigzag (NI, NII) of the frequency converter.

The finite element method was used to determine the electromagnetic field in the motor's magnetic circuit, the current and voltage currents, as well as torque and speed, using Flux 2D software. It was assumed that the magnetic circuit of the motor was made of PE-23 generator sheets, 0.5 mm thick, the length of the package is 25 mm and its diameter is 90 mm. The motor was powered from a three-phase voltage source with a sinusoidal waveform and a 220 V rms value of phase voltage. The calculation was made for the unloaded motor.

The instantaneous magnetic induction values occurring in non-linear stator columns reach values above 2 T and in the rotor area about 1 T. The source currents are the sum of the currents of both frequency multiplier systems and contain a lower proportion of higher harmonics than the currents in the transducer windings. The rotational speed and mechanical characteristics in the absence of load are shown in Fig. 2 and Fig. 3.



**Fig. 2.** Rotor speed characteristics in no-load condition



**Fig. 3.** Electromagnetic torque characteristics as a function of speed

## Conclusion

The speed increases linearly over a significant period of time. In the initial start-up phase, and only at speeds close to synchronous, the speed increases are smaller. In the interval from 0.01 s to 0.03 s there is a noticeable influence of the first harmonic magnetic induction and spatial harmonics of the field in the air gap on the shape of the characteristics.



The connection of capacitors between the mains neutral point and the neutral points of the zigzag-connected winding sections causes a voltage change between these points during the motor start and in steady state. This makes it possible to influence the shape of the speed and torque characteristics. The motor's electromagnetic torque increases during the initial start-up phase and then reaches values lower than in a capacitor-free configuration.

## References

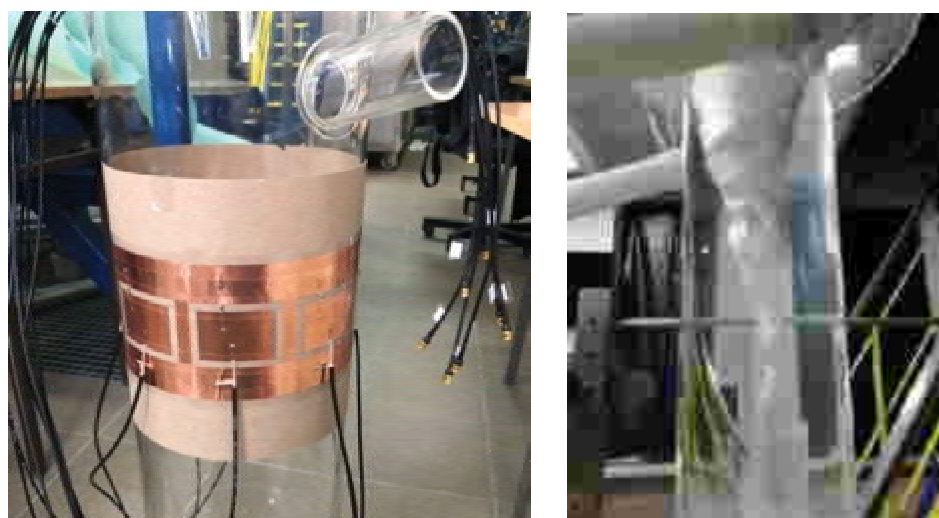
- [1] Buticchi G. et al., “Challenges of the optimization of a high-speed induction machine for naval applications”, *Energies*, 2019, 12, 2431.
- [2] Goleman R., “Three phase induction motor integrated with a magnetic frequency changer”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 254-255, 2003, pp. 229-301
- [3] Goleman R., “Basic properties of a single-phase hybrid motor prototype”, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 159, No.3, 1996, , pp.75-76
- [4] Goleman R., “Magnetic field and characteristics of a three phase hybrid induction motor”, *Non-linear Electromagnetic Systems*, IOS Press, 2000, pp.629-632.
- [5] Lu J., Yamada S., Bessho K., “Harmonic balance finite element method taking account of external circuits and motion”, *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. Mag-27, No. 5, 1991, pp.4024-4027.
- [6] Ravi Prakash, Mohammad Junaid Akhtar, Behera R. K., Parida S. K., “ Design of a Three Phase Squirrel Cage Induction Motor for Electric Propulsion System”, *Third International Conference on Advances in Control and Optimization of Dynamical Systems*, March 13-15, 2014. Kanpur, India.
- [7] Sakamoto Y., Ohkubo T., Ohta M., Natusaka M., “Three-phase parametric induction motor excited by a single-phase power supply”, *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. 37, No. 4, 2001, pp.2837-2839.
- [8] 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, 2016.
- [9] Soong W.L., Kliman G.B., Johnson R.N., White R.A., Miller J.E., “Novel high-speed induction motor for a commercial centrifugal compressor”, *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 36, No. 3, 2000, pp. 706 -713
- [10] Yamada S., Takeuchi A., Sudani T., Bessho K., “High-speed ac motor including the function of a magnetic frequency tripler”, *IEEE Trans. on Magnetics*, vol. Mag-22, No. 5, 1986 pp. 967-969.

## POMIARY PRZEPŁYWU CYKLONOWEGO Z UŻYCIEM TOMOGRAFII POJEMNOŚCIOWEJ ECT

Krzysztof GRUDZIŃ, Zbigniew CHANIECKI, Jacek NOWAKOWSKI,  
Laurent BABOUT, Andrzej ROMANOWSKI, Dominik SANKOWSKI

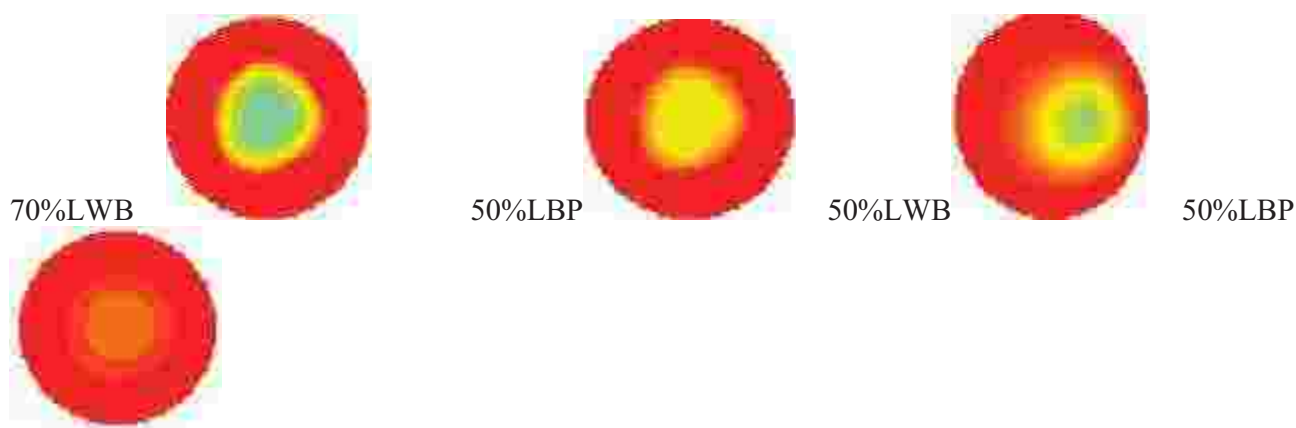
Politechnika Łódzka

Prezentowane wyniki prac badawczych dotyczą opracowania algorytmów przetwarzania i analizy zrekonstruowanych obrazów 2D dla potrzeb analizy procesu separacji cieczy i gazu w hydrocyklonach monitorowanego z wykorzystaniem tomografii pojemnościowej ECT [1]. Na podstawie danych pomiarowych możliwe jest uzyskanie informacji o stanie procesu na podstawie wyznaczonych parametrów procesu separacji dwufazowej. Algorytmy opierają się na analizie sekwencji obrazów pozyskanych z czujnika ECT [2]. Weryfikacja prac została dokonana na bazie pomiarów fantomu na modelu pół-przemysłowym separatora pionowego. Rys. 1 przedstawia zarówno dedykowany czujnik pomiarowy jak i model separatora.



**Rysunek 1:** Stanowisko badawcze do pomiaru przepływu cyklonowego separacji gaz-ciecz. Po lewej widoczny czujnik pomiarowy ECT. Po prawej widoczny model hydrocyklonu – na fotografii widoczny wyraźnie wir powietrza w centrum cieczy.

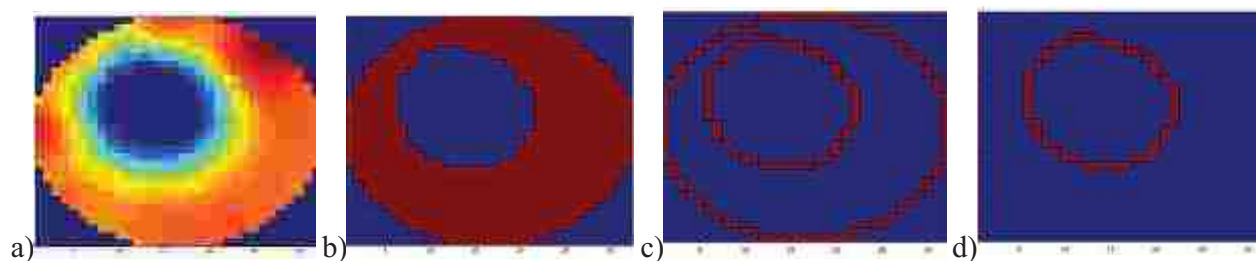
W ramach prac eksperymentalnych wykonano czujniki pomiarowe ECT, 8-elektrodowe, dedykowane pomiarowi procesu rozdzielania faz. Czujniki zastosowano do obrazowania procesu separacji w pionowym przepływie cyklonowym oraz w poziomej separacji grawitacyjnej. Przeprowadzono pomiary związane z określeniem możliwości detekcji zmian parametrów procesu separacji faz w zależności od procentowego udziału fazy gazowej w mieszance ciecz-gaz. Projekt czujnika ECT uwzględnia 8-elektrodowy czujnik, zewnętrznie położonych elektrod względem instalacji, wyposażony zarówno w pierścieniową elektrodę ochronną jak i osiową. Na rys. 1 zamieszczono fotografię czujnika dedykowanego cyklonowemu przepływowi pionowemu w trakcie jego montażu.



**Rysunek 2.** Przykładowe wyniki detekcji fazy gazowej w fazie ciekłej. Od lewej udział fazy gazowej na poziomie 70mm i 50mm LBW: alg. Landwebera, LBP: alg projekcji wstecznej.

Pomiary wykonano zarówno przy pomocy systemu tomograficznego ECT, opierającego się na metodzie AC-based. Przykładowe wyniki obrazowania rozkładu fazy gazowej w fazie ciekłej zostały pokazane na rys. 2. Wyniki odnoszą się do różnych poziomów udziałów faz oraz dla różnego umiejscowienia pozycji fazy gazowej.

Analiza otrzymanych obrazów z użyciem proponowanego algorytmu pozwala oszacować rozmiar i pozycję wiru fazy gazowej [3][4]. Informacja ta pozwala oszacować parametry powierzchni międzyfazowej, gdzie zachodzi proces separacji między gazem a cieczą. Monitorowanie zmian na granicy faz pozwala na efektywną kontrolę procesu w separatorze cyklonowym.



**Rysunek 3.** Wynik działania poszczególnych etapów algorytmów wyznaczającego parametry procesu separacji: a) zrekonstruowany obraz ECT, b) obraz binarny, b) obszar obrazu o najwyższym gradiencie, d) obszar fazy gazu.

Opracowany algorytm pozwala na efektywnie jego zastosowanie w warunkach przemysłowych. W kolejnych etapach prac zostanie zweryfikowany w szerokim spektrum warunków procesowych oraz przy porównaniu z wynikami osiągniętymi za pomocą obrazów cyfrowych uzyskanych z kamery CCD/CMOS.

### Literatura

- [1] Williams R.A, X Jia, R.M West, M Wang, J.C Cullivan, J Bond, I Faulks, T Dyakowski, S.J Wang, N Climpson, J.A Kostuch, D Payton, Industrial monitoring of hydrocyclone operation using electrical resistance tomography, Minerals Engineering, Volume 12, Issue 10, Pages 1245-1252, ISSN 0892-6875, 1999

- [2] Wang H., X. Wang, Q. Lu, Y. Sun and W. Yang, "Imaging gas-solids distribution in cyclone inlet of circulating fluidised bed with rectangular ECT sensor," 2011 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques, Penang, pp. 55-59, doi: 10.1109/IST.2011.5962181, 2011
- [3] Rymarczyk T., Filipowicz S.F.: The Shape Reconstruction of Unknown Objects for Inverse Problems, *Electrical Review*, NR 5/2012/3a, 2012
- [4] Rymarczyk T., G. Kłosowski, E. Kozłowski, P. Rymarczyk and K. Niderla, "Process Analysis with Electrical Impedance and Capacitance Tomography Data," *Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, Janow Podlaski, Poland, pp. 161-165, doi: 10.23919/PTZE.2019.8781714, 2019

# COMBINING ECT AND CMOS FOR QUALITATIVE BULK SOLID FLOW ANALYSIS

Krzysztof GRUDZIENI, Agnieszka LESZCZYŃSKA, Mateusz MIŁAK,  
Zbigniew CHANIECKI, Andrzej ROMANOWSKI, Dominik SANKOWSKI

Lodz University of Technology, Łódź

The goal this paper is to combine data obtained from Electrical Capacitance Tomography (ECT) system and high-speed CMOS optical image sensors during pneumatic transport of bulk material. The parameters of the concentration and velocity changes in the joint study were analyzed. Both methods were examined for the relationship between velocity and concentration level. The combination of CMOS and ECT images provided extensive knowledge on changes in concentration and velocity during the transport of granular material [1]. Changes in material concentrations were carried out based on the ECT data values and using the optical image processing algorithm. Both synchronization as well as eventual analysis of velocity changes were conducted with the aid of correlation techniques, based on a twin 8-electrode ECT sensor coupled with image processing from a CMOS camera.

Flow analysis was done using ECT with a sensor located in horizontal section of the pneumatic flow installation (Fig.1). This arrangement allows monitoring of the (1) velocity of the flow, (2) temporal changes in material distribution – pattern flow and (3) mass flow rate [2, 3, 4]. Additionally, ECT acquisition unit based on AC measurement paradigm and a computer system is attached.

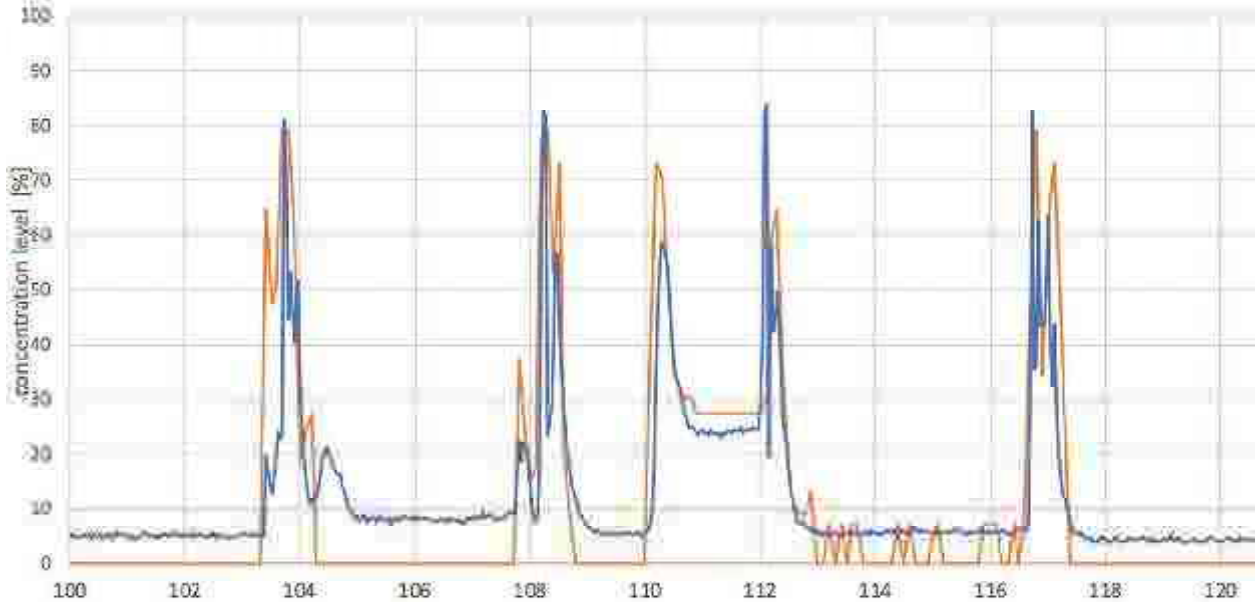


**Figure 1:** Experimental setup. Left: ECT dual plane sensing image reconstruction software module. Right: experimental pneumatic conveying pipeline section with improved light conditions for CMOS camera recording.

As a fast CMOS camera, the Basler fast acA2000-340kc camera was used, which was used to acquire the image [1]. According to what was mentioned before, the camera was placed in the horizontal part of the pipeline (fig. 1). On the examined part of the pipeline, lighting was installed, a fluorescent lamp, to obtain better image quality which had a significant impact on the subsequent processing of images in offline mode. Additionally, the housing of the mounted section was painted in black to increase the contrast of recorded images. Removing a common background partially simplifies the process and speeds up the calculation time as described in the article [5] where the obtained results were presented.

During experiments a series of measurements was conducted in the horizontal section of the pneumatic flow installation for various combinations of air pressure and material feed rate. During measurement

series the flow parameters were modified to obtain different flow regimes. The air pressure and the speed of the material being fed were changed to generate plug flow with different height level of settled layer occurring between the plugs. Length of plugs and time distance between successive plugs were also examined. Performed experimental flow experiments were recorded simultaneously using two methods, based on ECT tomography and CMOS camera. In order to synchronize the collected samples from these two systems the data measurements were time-shifted based on correlation techniques. As a result, the entire bulk material transport process was registered using ECT tomography and CMOS camera. Thanks to that it was possible to compare the obtained results from both methods and analyse the described process. Fig. 2 presents sample of data after synchronization.



**Fig. 2.** Example of ECT and CCD data synchronization based on data correlation (red line CCD data; blue line ECT data)

The received datasets of ECT and CMOS data values were first analyzed separately and later together. The article focuses on the comparison of both methods to analyzing flow parameters. It also describes the advantages and disadvantages of the techniques used in the application of granulated flow monitoring.

### Bibliography

- [1] Grudzień K., Z. Chaniecki, L. Babout, Study of granular flow in silo based on electrical capacitance tomography and optical imaging, *Flow Measurement and Instrumentation*, Volume 62, Pages 186-195, 2018
- [2] Mosorov, V., A method of transit time measurement using twin-plane electrical tomography, *Measurement Science and Technology*, 17, 4, pp. 753, 2006
- [3] Jaworski A. J. and Dyakowski T, Application of electrical capacitance tomography for measurement of gas-solids flow characteristics in a pneumatic conveying system. *Measurement Science and Technology*, 12(8):1109–1119, 2001
- [4] Rymarczyk T, Sikora J. Applying Industrial Tomography to Control and Optimization Flow Systems. *Open Physics*; 16 (1): 332–45, 2018
- [5] Leszczyńska A., M. Miłak, K. Grudzień, A. Romanowski, Z. Chaniecki and D. Sankowski, Towards ECT Coupled with CMOS Vision Sensing Qualitative Analysis of Bulk Solid Flow Concentration and Velocity Profiles, 9th World Congress on Industrial Process Tomography, pp. 767-776, Bath, U, 2018

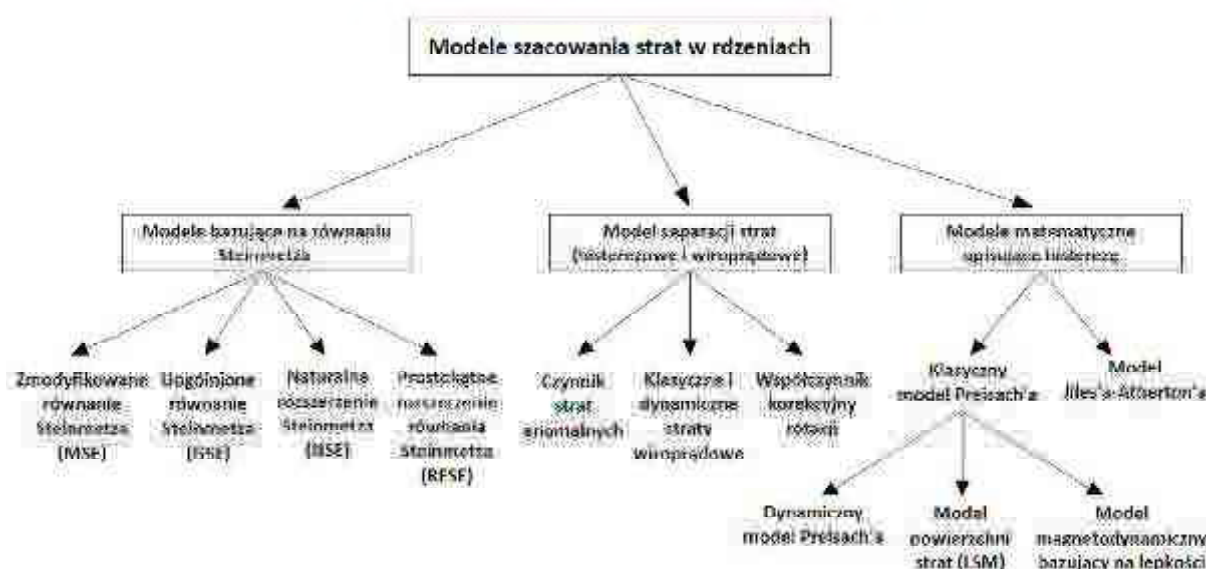
# PRZEGLĄD MODELI STRAT MOCY W RDZENIACH MAGNETYCZNYCH PRACUJĄCYCH W UKŁADACH ENERGOELEKTRONICZNYCH

Damian GZIEŁ, Mariusz NAJGEBAUER

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

W ostatnich latach można zaobserwować w przemyśle dynamiczny rozwój układów energoelektronicznych. W układach tych, oprócz elementów półprzewodnikowych, bardzo ważną rolę odgrywają obwody magnetyczne umożliwiające transformowanie energii elektrycznej. Należy zwrócić uwagę, że w rzeczywistych układach energoelektronicznych masa obwodów magnetycznych może przekraczać nawet połowę całkowitej masy urządzenia [1]. Wskazuje to na potrzebę ciągłego rozwoju metod pozwalających na optymalizację obwodów magnetycznych – zarówno pod względem ich gabarytów, jak również traconej w nich mocy. Producenci elementów magnetycznych oferują dzisiaj szeroką gamę standardowych elementów magnetycznych przeznaczonych do pracy w różnych zakresach mocy i częstotliwości. Niemniej jednak w szczególnych rozwiązaniach układów energoelektronicznych konieczne jest samodzielne zaprojektowanie i skonstruowanie obwodu magnetycznego. W realizacji tych zadań wykorzystuje się często programy komputerowe, umożliwiające symulację całego spektrum zjawisk elektrycznych, elektromagnetycznych oraz cieplnych zachodzących w elementach przekształtników, w tym w obwodach magnetycznych. Z punktu widzenia sprawności układów energoelektronicznych, najważniejszym zagadnieniem jest minimalizacja strat występujących w elementach przekształtnika, w tym ograniczanie strat w obwodach magnetycznych. Należy pamiętać, że w programach symulacyjnych stosowane są modele strat mocy w obwodach magnetycznych o różnym stopniu skomplikowania, co bezpośrednio przekłada się na dokładność obliczeń, jak również czas potrzebny do ich wykonania.

Obecnie stosuje się różnorodne modele do opisu strat w rdzeniach magnetycznych. Klasyfikację tych modeli przedstawiono na rysunku 1, natomiast w tabeli 1 zestawiono ich właściwości.



Rys. 1. Klasyfikacja modeli strat w rdzeniach magnetycznych [2, 3]

**Tabela 1.** Właściwości wybranych modeli strat w rdzeniach magnetycznych [2-5]

Właściwości Model	Bazuje na fizyce zjawisk	Uwzględnia odkształcone przebiegi	Wymagana wiedza o materiale rdzenia	Dokładność
Równanie Steinmetza (SE)	-	-	mała	niska
Uogólnione równanie Steinmetza (GSE)	-	-	średnia	niska/średnia
Zmodyfikowane równanie Steinmetza (MSE)	-	+	mała	niska/średnia
Naturalne rozszerzenie Steinmetza (NSE)	-	+	średnia	niska/średnia
Podwójne naturalne rozszerzenie Steinmetza (DNSE)	-	+	średnia	niska/średnia
Udoskonalone uogólnione równanie Steinmetza (IGSE)	-	+	średnia	niska/średnia
Podwójnie udoskonalone uogólnione równanie Steinmetza (I2GSE)	-	+	duża	średnia
Prostokątne rozszerzone równanie Steinmetza (RESE)	-	+	średnia	średnia
Model separacji strat	+	-	średnia	średnia
Klasyczny model Preisach'a	-	+	duża	wysoka
Dynamiczny model Preisach'a	-	+	duża	wysoka
Model Jiles'a-Atherton'a	+	+	duża	wysoka

W artykule zostaną przedstawione wybrane topologie układów energoelektronicznych, wskazujące typowe usytuowanie elementów magnetycznych, z uwzględnieniem warunków ich pracy oraz charakteru występujących w nich sygnałów napięciowych i prądowych, które zazwyczaj generują także odkształcone od sinusoidy przebiegi indukcji magnetycznej w rdzeniu. W dalszej części pracy zostanie przeanalizowana przydatność wymienionych modeli pod względem ich zastosowania do opisu strat w elementach magnetycznych stosowanych w układach energoelektronicznych.

## Literatura

1. Barlik R., Nowak M., *Energoelektronika – elementy, podzespoły, układy*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2014.
2. Krings A., *Iron losses in electrical machines – influence of material properties, manufacturing processes and inverter operation*, Doctoral Thesis, Stockholm, 2014.
3. Mu M., Lee F., *A new core loss model for rectangular AC voltages*, IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), Pittsburgh, 2014, pp. 5214-5220, DOI: [10.1109/ECCE.2014.6954116](https://doi.org/10.1109/ECCE.2014.6954116)
4. Muhlethaler J., Biela J., Kolar J., Ecklebe A., *Improved core-loss calculation for magnetic components employed in power electronic systems*, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, no. 2, pp. 964-973, 2012, DOI: [10.1109/TPEL.2011.2162252](https://doi.org/10.1109/TPEL.2011.2162252).
5. Van den Bossche A., Van de Sype A., Valchev V., *Ferrite loss measurement and models in half bridge and full bridge waveforms*, IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference, Recife, 2005, pp. 1535-1539, DOI: [10.1109/PESC.2005.1581834](https://doi.org/10.1109/PESC.2005.1581834).



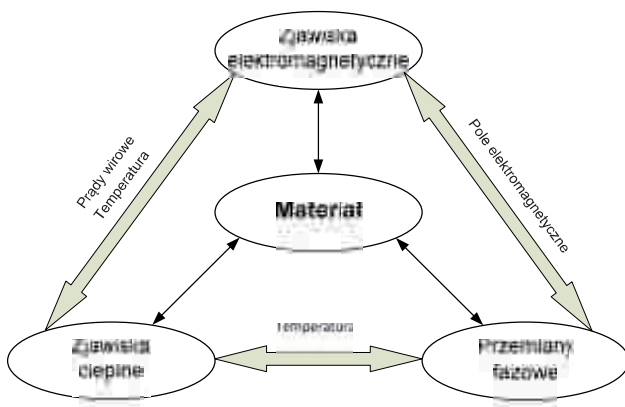
# NUMERYCZNY MODEL HARTOWANIA INDUKCYJNEGO OSIOWO-SYMETRYCZNYCH ELEMENTÓW STALOWYCH Z UWZGLĘDNIENIEM RÓŻNYCH RODZAJÓW WYMUSZENIA

Sławomir ISKIERKA, Iwona ISKIERKA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Nagrzewanie indukcyjne jest metodą dobrze znaną w procesach takich jak hartowanie, wyżarzanie, podgrzewanie do kucia na gorąco raz topienie. Proces nagrzewania indukcyjnego w porównaniu z tradycyjnymi metodami ma wiele zalet jak brak problemów z otwartym ogniem lub bezpieczeństwem atmosfery, powtarzalność, wysoka wydajność, zmniejszona skala, szybkie ukierunkowane ciepło łatwość obsługi [1-3].

Hartowanie stali jest obróbką termiczną, która wymaga nagrzewania powyżej temperatury przemiany w austenit, a następnie wystarczająco szybkiego chłodzenia, aby uzyskać strukturę stopu bainitycznego lub martenzytycznego. Hartowanie indukcyjne stosuje się w celu uzyskania dużej twardości powierzchniowej warstwy przedmiotu z zachowaniem ciągłego rdzenia, co zapewnia wysoką wytrzymałość i jednocześnie dużą odporność przedmiotu na ścieranie. Indukowane w materiale prądy wirowe są przyczyną powstawania objętościowych źródeł ciepła o dużych mocach. W wyniku działania tych źródeł materiał nagrzewa się do wysokiej temperatury, a ze względu na to, że źródła ciepła działają w niewielkiej objętości pole temperatury w materiale jest silnie niejednorodne. Wzajemne wpływy poszczególnych zjawisk towarzyszących obróbce cieplnej przedstawiono na schemacie na rysunku 1.



Rys. 1. Diagram zjawisk towarzyszących hartowaniu indukcyjnemu

Pole elektromagnetyczne w badanym środowisku opisano równaniem różniczkowo-całkowym [4]

$$\frac{1}{\mu} \left( \nabla^2 \underline{A} - \frac{\underline{A}}{r^2} \right) - j\omega\gamma \underline{A} + j \frac{\omega\gamma}{\Delta} \iint_{\Omega_m} \underline{A} d\Omega = -\frac{\underline{I}}{\Delta}$$

gdzie:  $\underline{A}$  - potencjał wektorowy (wartość zespolona skuteczna)  $\gamma = \gamma(\Theta)$ ,  $\mu = \mu(H, \Theta)$  [5].

W analizie procesu hartowania indukcyjnego pole temperatury w obszarach, w których występuje przewodzenie ciepła przy założeniu, że obiekt jest izobaryczny, opisane jest równaniem

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla \Theta) - \rho c \left( \frac{\partial \Theta}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \nabla \Theta \right) + \tilde{Q} = 0$$

Powyższe równania rozwiązano metodą elementów skończonych z uwzględnieniem zmian własności materiałowych ze zmianą natężenia pola elektromagnetycznego i temperatury.

Zjawiska związane z obróbką cieplną są bardzo złożone i nie zostały jeszcze w pełni wyjaśnione. Analiza numeryczna procesów obróbki cieplnej jest ważną kwestią w działalności laboratoriów zajmujących się projektowaniem procesów przemysłowych. Wymaga ona zbudowania modeli matematycznych i numerycznych pozwalających na śledzenie zmian ilościowych w strukturze materiału ze zmianą temperatury w czasie. Obecnie badania numerycznego modelowania procesów cieplnych zachodzących w czasie hartowania indukcyjnego mają tendencje do zwiększania liczby parametrów wejściowych na przykład o plastyczność transformacji [6]. Analizy danych eksperymentalnych pozwoliły na opracowanie wielu modeli matematycznych do obliczeń ułamków objętościowych przemian fazowych w stanie stałym. Podstawowe modele to równanie Johnsona-Mehla-Avramiego oraz uogólnione równanie Kołmogorowa [7]. W przypadku przemiany martenzytycznej w celu określenia ułamka objętościowego fazy stosuje się zwykle równanie Koistinen-Marburgera.

Metoda obliczania udziałów poszczególnych struktur podczas ciągłego nagrzewania i chłodzenia zastosowana w pracy wykorzystuje dane z procesu izotermicznego (wykres CTPi) i jest oparta na zasadzie addytywności [8].

Krzywą temperatura-czas nagrzewania aproksymowano ciągiem izotermicznych kroków. W każdym kroku udział nowej fazy jest obliczany na podstawie kinetyki przemiany izotermicznej, która jest modelowana zgodnie z prawami Johnsona-Mehla i Avramiego [9].

Objętościowe udziały struktur (perlitu i bainitu) powstających w czasie chłodzenia można wyznaczyć, podobnie jak udziały struktur powstających w czasie nagrzewania, ze wzorów Avramiego, uwzględniając udział powstałego austenitu w procesie nagrzewania.

W przypadku stali podoutektoidalnych powyższe udziały można uzupełnić o udział powstałego ferrytu. Udział powstałego martenzytu może być określony na podstawie empirycznego równania Koistinen i Marburgera [10].

1. Barglik J., Wieczorek T., Smalcerz A., *Modeling od surface induction hardening process*, Przegląd Elektrotechniczny, R90, nr 2, 2014, pp.1-4.
2. Bokota A., Iskierka S: *Numerical analysis of phase transformations and residual stresses in steel cone-shaped elements hardened by induction and flame methods*, International Journal of Mechanical Sciences, 1998, s. 366-376
3. Spezzapria M., Michele Forzan M., Dughiero F., *Numerical simulation of solid–solid phase transformations during induction hardening process*, IEEE Trans. Mag., 52, 3, 2016, pp. 740-743
4. Konrad A., *Integrodifferential finite element formulation of two-dimensional steady-state skin effect problems*, IEEE Trans. Mag., 18, 1, 1982, pp. 284–292.
5. Totten G.E., *Steel heat treatment handbook*, Taylor&Francis, 2007
6. Bokota A., Kulawik A., *Model and Numerical Analysis of Hardening Process Phenomena for Medium-Carbon Steel*, Archives of Metallurgy and Materials, Vol. 52, No 2, 2007, pp. 337-346
7. Kolmogorov A.,N., *On the Statistical Theory of Crystallization of Metals* [in Russian], Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Mat., No. 3, 1937, pp. 355-359.
8. Melander M. A., *Computational and experimental investigation of induction and laser hardening*. Linköping Studies in Science and Technology. Dissertation, 124, Linköping 1985.
9. Avrami M., *Kinetics of phase change*, J. Chem. Physics, I: 7, 1939, pp. 1103–1112, II: 8, 1940, pp. 212–224, III: 9, 1941 pp. 117–184.
10. Koistinen D. P., Marburger R. E., *A general equation prescribing the extent of the austenite-martensite transformation in pure iron-carbon alloys and plain carbon steels*, Acta Metall., 7, 1959, pp. 59–60.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# ANALITYCZNO-NUMERYCZNA METODA OBLICZANIA ROZKŁADU GĘSTOŚCI PRĄDU TRÓJFAZOWEGO TORU PRĄDOWEGO Z SZYNOPRZEWODAMI O PRZEKROJU KOŁOWYM

**Paweł JABŁOŃSKI, Tomasz SZCZEGIELNIAK, Dariusz KUSIAK**

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny,

Katedra Automatyki, Elektroniki i Elektrotechniki

Układ przewodów o przekroju kołowym jest bardzo często stosowany w liniach przesyłowych i torach prądowych. Przykładowo w trójfazowej linii kablowej znajdują się często trzy cylindryczne przewody w aranżacji płaskiej lub trójkąta równobocznego [1]. Wskutek zjawiska indukcji elektromagnetycznej w każdym przewodzie indukowane są prądy wirowe, które często formalnie rozdziela się na pochodzące od zjawiska naskórkowości oraz zjawiska zbliżenia. Prądy te zmieniają gęstości prądów w przewodach. W konsekwencji całkowite gęstości prądu w przewodnikach stają się nierównomierne i niesymetryczne i znacząco wpływają na pole elektromagnetyczne, straty mocy w przewodach oraz macierz impedancji takiego układu przewodników [2–4]. Wiedza na temat rozkładu gęstości prądu jest istotna i niezbędna do określenia właściwości sieci takich linii.

Pomimo ogromnego rozwoju metod numerycznych i powstania wielu pakietów obliczeniowych, zwłaszcza korzystających z metody elementów skończonych, wciąż istnieje potrzeba stosowania zależności analitycznych, nawet, jeśli są one przybliżone. Wynika to z tego, że metody numeryczne, choć nieograniczone geometrią układu i innymi aspektami, nie dają zależności ogólnych, które można by poddać analitycznej ocenie i wyciągnąć z nich pewne wnioski ogólne. W przypadku układu  $K$  równoległych nieskończenie długich przewodów o stałym kołowym przekroju poprzecznym, umieszczonych w środowisku nieprzewodzącym, istnieje możliwość uzyskania przybliżonego analitycznego rozwiązania w punkcie  $X$   $i$ -tego przewodu. Polega ona na tym, że gęstość prądu w tym punkcie przedstawia się jako sumę dwóch składników: pierwszy pochodzi od prądu w tym przewodzie i zjawiska naskórkowości – oznaczany jest tutaj jako  $\underline{J}_i^{\text{nask}}(X)$ . Drugi składnik pochodzi od prądów wirowych zaindukowanych przez prądy płynące w sąsiednich przewodach, lecz zastąpionych włóknami prądowymi – składnik ten będzie oznaczany tutaj jako  $\underline{J}_i^{\text{włókna}}(X)$ :

$$\underline{J}_i(X) \approx \underline{J}_i^{\text{nask}}(X) + \underline{J}_i^{\text{włókna}}(X) \quad (1)$$

Jeśli punkt  $X$  ma współrzędne biegunowe  $(r, \theta)$  w układzie związanym z  $i$ -tym przewodem, to wzory na obydwie składniki są następujące [4,5]:

$$\underline{J}_i^{\text{nask}}(X) = \frac{\underline{I}_j}{\pi R_i^2} \frac{\underline{\Gamma}_i R_i}{2} \frac{I_0(\underline{\Gamma}_i r)}{I_1(\underline{\Gamma}_i R_i)} \quad (2)$$

$$\underline{J}_i^{\text{włókna}}(X) = - \sum_{k=1, k \neq i}^K \frac{\underline{I}_k}{\pi R_i^2} \underline{\Gamma}_i R_i \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{R_i}{d_{ik}} \right)^n \frac{I_n(\underline{\Gamma}_i r)}{I_{n-1}(\underline{\Gamma}_i R_i)} \cos n\theta \quad (3)$$

gdzie  $\underline{I}_k$  – prąd w  $k$ -tym przewodzie,  $R_i$  – promień  $i$ -tego przewodu,  $d_{ik}$  – odległość między osiami przewodów  $i$  oraz  $k$ ,  $\underline{\Gamma}_j = \sqrt{j\omega\mu_i\sigma_i}$  – współczynnik wypierania,  $j$  – jednostka urojona,  $\omega$  – pulsacja,

$\mu_i$  – przenikalność magnetyczna przewodu,  $\sigma_i$  – konduktywność elektryczna przewodu,  $I_n(z)$  – zmodyfikowana funkcja Bessela pierwszego rodzaju  $n$ -tego rzędu.

Przedstawiony sposób jest przybliżony, gdyż zaniedbuje skończone rozmiary przekroju poprzecznego sąsiednich przewodów. Pomimo tego, jeśli głębokość wnikania pola w sąsiednich przewodach jest wystarczająco duża w stosunku do promieni, tak otrzymane wzory bardzo dobrze się sprawdzają w obliczeniach analitycznych. Jeśli tak nie jest, rozmiary poprzeczne sąsiednich przewodów zaczynają mieć istotny wpływ na wyniki. Można to uwzględnić biorąc pod uwagę fakt, że po obliczeniu gęstości prądu w każdym z przewodów z przytoczonego wzoru przybliżonego można wyznaczyć poprawkę wywołowaną w  $i$ -tym przewodzie w sposób następujący

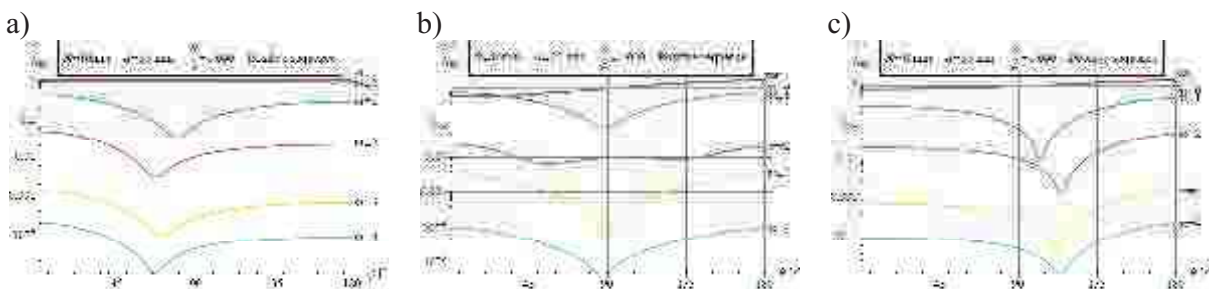
$$\underline{J}_i^{\text{popr}}(X) = -\underline{\Gamma}_i^2 \sum_{k=1, k \neq i}^K \iint_{S_k} \frac{J_k^{\text{włókna}}(Y)}{2\pi} \ln \frac{1}{|X - Y|} dS_Y \quad (4)$$

Całkę tę można obliczyć tylko numerycznie, stąd też metoda z analitycznej staje się analityczno-numeryczna, jednak oparta na wzorze ścisłym. Tak obliczoną poprawkę dodaje się do wzoru (1). Oczywiście sama ona stanowi źródło kolejnej poprawki tak, że wzór (1) można uogólnić jako

$$\underline{J}_i^{[M]}(X) = \sum_{m=0}^M \underline{J}_i^{(m)}(X) \quad (5)$$

gdzie  $\underline{J}_i^{(0)}(X) = \underline{J}_i^{\text{nask}}(X)$  jest przybliżeniem uwzględniającym tylko zjawisko naskórkowości,  $\underline{J}_i^{(1)}(X) = \underline{J}_i^{\text{włókna}}(X)$  jest pierwszą poprawką uwzględniającą zjawisko zbliżenia w sposób przybliżony,  $\underline{J}_i^{(2)}(X) = \underline{J}_i^{\text{popr}}(X)$  jest drugą poprawką na zjawisko zbliżenia, itd., zaś  $\underline{J}_i^{[M]}(X)$  jest sumą tych wszystkich składników, a więc  $M$ -tym przybliżeniem rozwiązania.

Rysunek 1 przedstawia wartości modułu gęstości prądu na powierzchni przewodów trójfazowego toru prądowego dla przykładowego toru wieloprądowego w układzie płaskim L1 L2 L3. W rozpatrywanym przypadku składnik (3), tj.  $\underline{J}_i^{(1)}$  (kolor niebieski) ma on bardzo istotny wpływ na całkowitą gęstość prądu, zwłaszcza w fazie L2. Poprawka dana wzorem (4), tj.  $\underline{J}_i^{(2)}$  (kolor fioletowy) sięga około 5%, a więc jest dość mała, lecz jednak mająca widoczny wpływ na całkowitą gęstość prądu. Dalsze poprawki są już mniejsze od 0,5% i praktycznie zaniedbywalne.



**Rys. 1.** Moduł gęstości prądu na powierzchni przewodów trójfazowego toru prądowego o przewodach okrągłych w układzie płaskim L1 L2 L3 ( $R$  – promień przewodów,  $d$  – odstęp między osiami,  $\delta$  – głębokość wnikania pola): a) faza L1, b) faza L2, c) faza L3 (linia czerwona – gęstość wypadkowa, linia zielona – efekt naskórkowości, linia niebieska - poprawka (3), linia fioletowa – poprawka (4), linia żółta i błękitna – dalsze poprawki)

## Literatura

1. Benato, R.; Paoluci A. *EHV AC Undergrounding Electrical Power. Performance and Planning*, Springer-Verlag London Limited, UK, 2010.
2. Coufal, O. Current density in two solid parallel conductors and their impedance. *Electric. Eng.* 2014, 96, 287-297.
3. Capelli, F.; Riba, J. R. Analysis of formulas to calculate the AC inductance of different configurations of nonmagnetic circular conductors. *Electric. Eng.* 2017, 99, 827-837.
4. Piątek, Z. *Impedances of tubular high current busducts*. Polish Acad. Sci., Committee Elect. Engng, Ser. Progress in high-voltage technique, Vol. 28, Wyd. Pol. Częst., Czestochowa, Poland, 2008.
5. Jabłoński, P.; Szczegielniak, T.; Kusiak, D.; Piątek, Z. *Analytical-numerical solution for the skin and proximity effects in two parallel round conductors*, *Energies* 2019, 12, 3584; doi:10.3390/en12183584.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# NIEINWAZYJNE BADANIE JEDNORODNOŚCI STRUKTURY KOMPOZYTÓW MIĘKKICH MAGNETYCZNIE

Adam JAKUBAS

Politechnika Częstochowska Wydział Elektryczny

## Wprowadzenie

Odpowiednia jakość i powtarzalność wyrobów jest niezwykle istotna dla producentów. Jednym z warunków utrzymania założeń jakościowych jest odpowiedni nadzór i kontrola wyrobów oraz procesu produkcji. W tym celu można zastosować jedną lub kombinację wielu metod, np. termograficzną, magnetyczną, optyczną, ultradźwiękową, itd. Szeroka gama metod niedestrukcyjnych (Nondestructive testing – NDT) odgrywa ważną rolę w testowaniu materiałów kompozytowych. Techniki NDT znajdują szczególne zastosowanie w wielu procesach produkcyjnych, stanowiąc opłacalną metodę kontroli jakości. Zastosowanie szerokiego spektrum metod NDT znajduje zastosowanie m.in. podczas produkcji dodatków metalowych, rurociągów, kompozytów lotniczych, rdzeni transformatorów, ekranów elektromagnetycznych i wielu innych produktów. W artykule zaproponowano metodę NDT opartą na analizie obrazów pola magnetycznego. Za jej pomocą możliwe jest wykrywanie wad materiałowych, takich jak wtrącenia, korozja, pustki, pęknięcia, szczeliny, brak jednorodności mieszaniny, nieprawidłowe mieszanie składników itp. w kompozytach metalowo-polimerowych. Dodatkowymi zaletami metody są duża szybkość działania i praca w trybie on-line.

## Opis przygotowania próbek i przeprowadzenia badań

Na potrzeby realizacji badań przygotowano próbki rdzeni toroidalnych (rys.1a.) oraz płaskich płytek (rys.1b.) w oparciu o kompozycje proszków metalowo-polimerowych. Próbki zostały wyprasowane przy zróżnicowanym ciśnieniu: od 50 MPa do ok. 500 MPa oraz w temperaturze 160-170 °C.



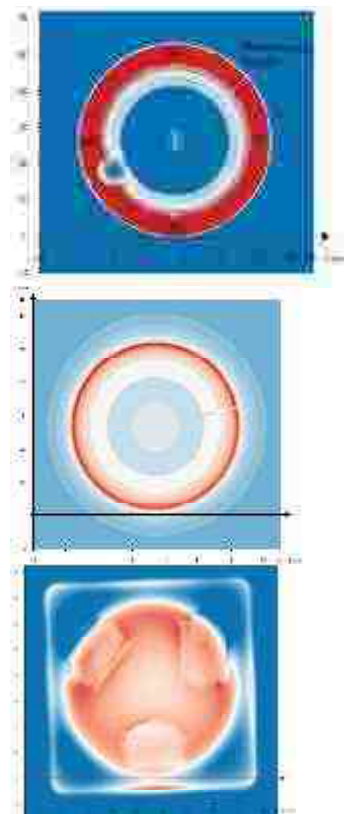
**Rys. 1.** Próbki a) rdzeń toroidalny, b) płaska płytka

Część defektów została spreparowana w próbkach już na etapie wytwarzania, np. zastosowanie wtrąceń magnetycznych lub niemagnetycznych, różny rozkład zawartości polimeru (od 0,5%-30%), różną wielkość uziarnienia proszków metali (od 50  $\mu\text{m}$  do 250  $\mu\text{m}$ ), różne ciśnienie formowania. Inne rodzaje defektów, takie jak: otwory o różnej głębokości i średnicy oraz szczeliny o różnej szerokości przygotowano już po wykonaniu próbek. Łącznie przygotowano 42 różne próbki o odmiennych cechach jakościowych i ilościowych, w tym próbki referencyjne. Przykładowe próbki pokazano na rysunku 2.

W badaniach jako źródło pola magnetycznego wymuszającego strumień magnetyczny w próbce wykorzystano magnes neodymowy o wymiarach pokrywających się z badaną próbką. W pierwszej kolejności zebrano informacji o natężeniu pola tuż nad magnesem (wzorcowanie). Następnie wykonano mapowanie natężenia pola tuż nad powierzchnią położonych próbek. Procedurę przeprowadzono dla obu stron próbek.. Badania zostały przeprowadzone przy użyciu trzy-osiowej kamery pola magnetycznego wyposażonej w detektor MiniCub3D firmy MagCam w siedzibie producenta Magcam NV znajdującej się w parku naukowo-badawczym Haasrode Research-Park w Belgii.



**Rys. 2.** Próbkę a) wtrącenia metalowe, b) wtrącenia polimerowe, c) otwory, d) różna zawartość %wt. PVC, e) wtrącenia niemagnetyczna, f) szczelina.



**Rys. 3.** Przykładowa wizualizacja wyników pomiarów

### Opis uzyskanych efektów

W efekcie przeprowadzonych badań uzyskano bazę danych pomiarowych w postaci plików .csv zawierających informacje o wartości składowych pola magnetycznego  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  i współrzędne punktów pomiarowych (na próbkę przypada ponad 50000 pkt.). Wizualizację przykładowych wyników pomiaru pokazano na rys.3.

### Podsumowanie

Testy laboratoryjne na etapie badań wstępnych potwierdziły hipotezę o możliwości precyzyjnego określenia lokalizacji oraz obszaru defektu za pomocą matrycy czujników micro-Hall. Dodatkowo, badania wykazały, że możliwe jest określenie rodzaju wtrącenia (magnetyczne, niemagnetyczne). Proces badawczy wykazał ponadto, że zastosowanie jako wymuszenia pola magnesu neodymowego wiąże się z pewnymi ograniczeniami, m.in. trudnościami z oderwaniem próbki od magnesu (pomimo zastosowania przekładki) oraz niejednorodnością pola magnesu. Rozwiązaniem tych problemów będzie zastosowanie elektromagnesu prądu stałego. Na podstawie uzyskanych wyników zgłoszono do publikacji trzy prace, a kolejne są w przygotowaniu.

## **Literatura**

- [1] Jakubas, A. (2019, June). Diagnostics of the Fe-based composites using a magnetic field camera. In 2019 Progress in Applied Electrical Engineering (PAEE) (pp. 1-4). IEEE.
- [2] Vervaeke, K. (2015, September). 6D magnetic field distribution measurements of permanent magnets with magnetic field camera scanner. In 2015 5th International Electric Drives Production Conference (EDPC) (pp. 1-4). IEEE.



# ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYTWORZENIA SZCZOTEK TROLEJBUSOWYCH W OPARCIU O MATERIAŁY RECYKLINGOWE

Adam JAKUBAS<sup>1</sup>, Krzysztof CHWASTEK<sup>1</sup>, Artur CYWIŃSKI<sup>3</sup>,  
Adam GNATOWSKI<sup>2</sup>, Łukasz SUCHECKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska Wydział Elektryczny

<sup>2</sup> Politechnika Częstochowska Wydział Mechaniczny

<sup>3</sup> Pracownia Projektowa OMEGA - PROJEKT A. Cywiński, K. Baron Sp. j.

## Wprowadzenie

Wszystkie przedsiębiorstwa komunikacyjne posiadające w taborze trolejbusy zmagają się trudnościami związanymi ze szczotkami trakcyjnymi, które wykonane są z mieszanki grafitu i opiłków miedzi i należy je wymieniać z określoną częstotliwością (średnio co tydzień). Przyczyny tego stanu należy upatrywać w mieszające grafitowej, z której są obecnie wykonywane ślizgi i brakiem praktycznie konkurencji wśród dostawców tego typu wyrobów. Zatem, potrzeby bezpośrednich odbiorców są bardzo jasno zdefiniowane. Szczotki trakcyjne powinny spełniać swoją podstawową funkcję, czyli być stosowane w odbierakach prądu z linii trakcyjnych przy różnym obciążeniu prądu stałego i być zdolne wytrzymać większe poziomy drgań i uderzeń termicznych, nie niszczyć sieci trakcyjnej ze względu na występujące tarcie (szczotki powinny równomiernie się wyciekać i mieć w składzie substrat oliwiący linie trakcyjne), być możliwie długo użytkowane, co powoduje obniżenie kosztów eksploatacyjnych użytkowania pojazdów transportu publicznego. Oznacza to wydłużenie średniego czasu ich stosowania (1 tydzień) i pozbycie się problemu wymiany spowodowanej ich pęknięciami w czasie eksploatacji. Celem przeprowadzonych badań było opracowanie szczotek trolejbusowych o konkurencyjnych właściwościach mechanicznych i elektrycznych względem rozwiązań komercyjnych, z wykorzystaniem materiałów pochodzących z recyklingu.



Rys. 1. Przykład otrzymanych szczotek

## Opis przygotowania próbek i przeprowadzenia badań

Koncepcja opracowania szczotek trakcyjnych zakładała jak największe wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu. W tym celu pozyskano, wyselekcjonowano, oczyszczono i rozdrobniono materiały pozyskane od lokalnych firm zajmujących się przetwórstwem metali. Proponowane rozwiązanie bazuje na hipotezie, że do produkcji ślizgów trakcyjnych można wykorzystać

bardzo drobny pył (< 50 mikronów) pochodzący z wyeksploatowanych elektrod węglowych (rys.2.), z dodatkiem czystego proszku grafitowego, zbrojenia w postaci włókien miedzianych pochodzących z rozdrobnionych oplotów kabli energetycznych (rys. 3). Odpowiednie właściwości smarne zapewniają cząsteczki płynu chłodząco-smarującego pozostałego z procesu obróbki materiału, uwięzione w strukturze kompozytu oraz naturalne właściwości smarne grafitu. Jako materiał spoinujący wykorzystano żywicę fenolowo-akrylową - rys.4.



**Rys. 2.** Elektroda węglowa w całości



**Rys. 3.** Rozdrobniony oplot miedziany



**Rys. 4.** Żywica fenolowo-akrylowa

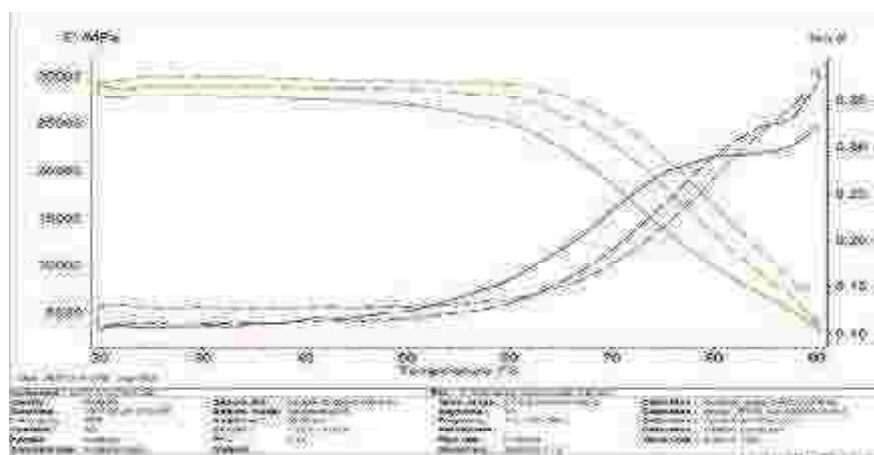
### Opis uzyskanych efektów

Badania przeprowadzono dla różnych konfiguracji składników i szczotek komercyjnych. Przeprowadzono badania właściwości elektrycznych, mechanicznych oraz obciążeniowych. Przykładowe wyniki pomiaru rezystancji skrośnej podano w tabeli 1.

Tab. 1. Parametry elektryczne próbek

Próbka	1	2	3	4	5	6	7
Rezystancja (mΩ)	8,63	7,23	6,45	8,67	9,84	14,85	6,37

Przykład pomiarów modułu zachowawczego (dynamicznego) i tangensa kąta stratności mechanicznej - mówi o sztywności materiału i tłumienności drgań, pokazano na rysunku 4.



**Rys. 5.** Wyniki badań wstępnych właściwości mechanicznych kompozytu metal-polimer (grafit-Cu żywica)

### **Podsumowanie**

Wykonanie badań było niezbędne w celu wyboru optymalnego składu mieszanki, który zapewni najlepsze z możliwych wartości elektryczne i mechaniczne oraz możliwość przetwórstwa w procesie formowania na gorąco w temp. do 200 °C. Zadanie to ma na celu wyeliminowanie mieszanek, które zawierają składniki mogące powodować korozję linii trakcyjnej lub obniżyć trwałość szczotek. W rezultacie badań zostały przygotowane mieszanki, z których można wykonać prototypy ślizgów trakcyjnych. Opracowane szczotki zawierają 55 – 60 % materiałów pochodzących z recyklingu.

# KONCEPCJA WYKORZYSTANIA SUROWCÓW POCHODZĄCYCH Z RECYKLINGU DO PRODUKCJI KOMPOZYTOWYCH MATERIAŁÓW MIĘKKICH MAGNETYCZNYCH

Adam JAKUBAS<sup>1</sup>, Ewa ŁADA-TONDYRA<sup>1</sup>, Marcin MAKÓWKA<sup>2</sup>, Mateusz CHYRA<sup>1</sup>,  
Radosław JASTRZĘBSKI<sup>1</sup>, Łukasz SUCHECKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny

## Wprowadzenie

Współczesny przemysł poszukuje nowych materiałów funkcjonalnych o lepszych właściwościach użytkowych od aktualnie stosowanych. Równocześnie bardzo istotnym celem przy tworzeniu nowych technologii jest próba zmniejszenia obciążenia dla środowiska naturalnego. Rozwiązaniem, które pozwoli na realizację tego celu, jest stworzenie komponentów, wykorzystujących produkty odpadowe. Koncepcja zakłada zagospodarowanie wysokojakościowych, poprodukcyjnych materiałów odpadowych dostępnych w postaci metalowych pyłów, proszków i wiórów oraz wszelkiego rodzaju odpadów z polimerów termoplastycznych do wytworzenia kompozytowych materiałów miękkich magnetycznych.

## Wykorzystanie surowców pochodzących z recyklingu

Koncepcja zakłada zagospodarowanie wysokojakościowych odpadów poprodukcyjnych. Powstają one między innymi przy produkcji transformatorów (blachy prądnicowe i transformatorowe, amorficzne, nanokrystaliczne), produkcji i obróbki (wiercenie, frezowanie, szlifowanie) narzędzi i form z wysokojakościowej stali i stopów aluminium (rys.1).



**Rys. 1.** Potencjalne surowce do konstrukcji kompozytów A, B – pyły złomowiskowe, C – zgorzelina walcownicza, D, E – wióry aluminiowe, F – wióry mosiężne, G, włókna miedziane, H – odpady rudy cyny.

Inne materiały, które również znajdują się w obszarze zainteresowania, są to odpady nieekonomiczne – wymagające dodatkowej obróbki lub obecnie nieprzydatne w gospodarce. Oprócz odpadów metalowych do produkcji proponowanych kompozytów zamierza się wykorzystać odpady polimerowe, głównie pozostałości po produkcji dzianin syntetycznych. Są to włókna m.in. polipropylenowe, polietylenowe i poliestrowe.

Zastosowanie tego typu kompozycji metalowo-polimerowych pozwoli na dopasowanie do potrzeb właściwości mechanicznych i elektromagnetycznych, których silnym atutem będzie pro-ekologiczny charakter.

### Miękkie magnetyczne materiały kompozytowe

Zwiększona świadomość w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych, rosnące obawy o zrównoważony rozwój to tylko niektóre z kluczowych czynników napędzających wzrost rynku kompozytów miękkich magnetycznych. Miękkie magnetyczne materiały kompozytowe (*Softmagnetic Composite Materials*- SMC) obecnie konkurują z laminatami stalowymi, przy podobnym lub nawet niższym koszcie produkcji [1-3]. Korzyści wynikające z zastąpienia konwencjonalnego laminowanego rdzenia w maszynie elektrycznej za pomocą SMC są znaczące i obejmują obniżone straty przy wysokich częstotliwościach pracy, a modułowa konstrukcja umożliwia łatwe wyjmowanie pojedynczych elementów w celu naprawy lub wymiany. Ze względu na znaczące korzyści ekonomiczne i środowiskowe, materiały SMC mają ogromny potencjał do zastosowania w maszynach elektrycznych, szczególnie tych o skomplikowanych strukturach. Zapotrzebowanie na SMC jest związane z produkcją silników do napędów pojazdów, zastosowania miękkich materiałów magnetycznych obejmują alternatory, transformatory silników, elektromagnesy, solenoidy, przekaźniki, cewki dławikowe, głośniki i słuchawki itd.

### Badania wstępne

Dotychczasowe badania były przeprowadzone głównie na materiałach czystych, np. proszki żelaza, aluminium i innych w postaci proszków o czystości większej niż 98 %, zmieszanych również z czystą osnową polimerową PVC. Przeprowadzone badania laboratoryjne miały głównie na celu zbadanie wpływu wielkości ziarna metalu, składu jakościowego i ilościowego kompozytów, ciśnienia formowania, czasu formowania na właściwości elektryczne i magnetyczne uzyskanych kompozytów. Przykład wykonania próbki w ramach badań wstępnych, przedstawiono na rysunku 2.



Rys. 2. Wstępna próbka kompozytu – zendra - PVC

### Podsumowanie

Testy laboratoryjne na etapie badań wstępnych pokazały, że technologia kompozytów elektrotechnicznych charakteryzuje się parametrami przewidzianymi przez modele analityczne oraz, że technologia posiada potencjał rozwojowy w kierunku praktycznego zastosowania. Zakłada się, że zastosowanie proszków powstałych ze zmielenia wysokojakościowych blach elektrotechnicznych pozwoli na uzyskanie parametrów magnetycznych zbliżonych do produktów oferowanych w handlu przy jednoczesnym obniżeniu stratności tych kompozytów do wartości zawierającej się pomiędzy wartościami przyjętymi dla materiału wyjściowego, a obecnie stosowanymi materiałami proszkowymi.

### Literatura

- [1] A. Jakubas, P. Gębara, S. Seme, A. Gnatowski, K. Chwastek, Magnetic properties of SMC cores produced at low compacting temperature, *Acta Phys. Pol. A*, 131(5) (2017), 1289-1293. DOI: 10.12693/APhysPolA.131.1289
- [2] Gay, D. (2014). *Composite materials: design and applications*. CRC press.
- [3] Najgebauer M., Szczygłowski J., Kompozyty magnetyczne w maszynach Elektrycznych, *Sci. J. Silesian Univ. Techn. Series Electr. Eng.* 4 (220), 29 (2011),
- [4] Böhm A., Hahn I., "Comparison of soft magnetic composite (SMC) and electrical steel," in *Proc. 2nd Int. EDPC*, Nuremberg, Germany, Oct. 2012, pp. 229–234.

# KONCEPCJA WYKORZYSTANIA SUROWCÓW POCHODZĄCYCH Z RECYKLINGU DO WYKONANIA KOMPOZYTOWYCH MATERIAŁÓW EKRANUJĄCYCH POLE ELEKTROMAGNETYCZNE

Adam JAKUBAS<sup>1</sup>, Ewa ŁADA-TONDYRA<sup>1</sup>, Marcin MAKÓWKA<sup>2</sup>,  
Mateusz CHYRA<sup>1</sup>, Olga SOCHACKA<sup>1</sup>, Łukasz SUCHECKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Mechaniczny

## Wprowadzenie

Tematem badań jest analiza funkcjonalności i możliwości wykonania kompozytów metalowo-polimerowych wykonanych ze sproszkowanych materiałów recyklingowych i odpadowych jako kompozytowych materiały ekranujące pole elektromagnetyczne. Ten obszar jest rozwinięciem zagadnienia jakim jest zagospodarowanie wysokojakościowych, poprodukcyjnych materiałów odpadowych dostępnych w postaci metalowych pyłów, proszków, wiórów i płatków oraz wszelkiego rodzaju odpadów z polimerów termoplastycznych.

## Opis przygotowania próbek i przeprowadzenia badań

Koncepcja zakłada zagospodarowanie wysokojakościowych odpadów poprodukcyjnych oraz odpadów nieekonomicznych – wymagających dodatkowej obróbki lub obecnie nieprzydatnych w gospodarce. Do tej grupy odpadów można zaliczyć m.in. pozostałości po obróbce rudy cynku, które są zasobne w aluminium, ale zawiera również szkodliwy ołów (ten materiał może być związany przez produkty z twardego polistyrenu i przeznaczony na osłony w pracowniach rentgenowskich). Inne tego typu odpady to pyły zmieszane złomowiskowe i zendra, które mogą zostać wykorzystane do produkcji paneli ekranujących EMI. Przykład wykonania próbki w ramach badań wstępnych, przedstawiono na rysunku 1. Oprócz odpadów metalowych do produkcji proponowanych kompozytów zamierza się wykorzystać odpady polimerowe, głównie pozostałości po produkcji dzianin syntetycznych. Są to włókna m.in. polipropylenowe, polietylenowe i poliestrowe (rys. 2).



**Rys. 1.** Wstępna próbka kompozytu – zendra – **Rys. 2.** Polimerowe materiały odpadowe PVC

Zastosowanie tego typu kompozycji metalowo-polimerowych pozwoli na dopasowanie do potrzeb właściwości mechanicznych i elektromagnetycznych, ich silnym atutem będzie pro-ekologiczny charakter.

### **Materiały ekranujące pole elektromagnetyczne**

Nowoopracowane kompozyty znajdują zastosowanie jako ekrany promieniowania elektromagnetycznego i rentgenowskiego (Jeżeli materiał odpadowy będzie zawierał stosowne składniki, np. ołów). Dotychczasowe prace zespołu były prowadzone w zakresie fal od 1 GHz do 10 GHz. Dowolność kształtowania cech kompozytów elektrotechnicznych umożliwia zastosowanie ich jako materiałów ekranujących zakłócenia i niepożądane promieniowanie elektromagnetyczne. Tego typu materiały są wysoko pożądane w zastosowaniach medycznych, lotniczych i wojskowych [1]. Także w codziennym w otoczeniu człowieka występuje coraz więcej źródeł promieniowania elektromagnetycznego wysokiej częstotliwości. W powszechnym użyciu znajduje się coraz więcej urządzeń takich, jak: telefony komórkowe, smartfony, tablety, komputery przenośne. Jednocześnie znacząco wzrasta liczby obiektów telekomunikacyjnych opartych na technologiach Wi-Fi, GSM, LTE itp. Wymienione urządzenia i obiekty emitują jednostkowo niski, aczkolwiek permanentny poziom promieniowania elektromagnetycznego. W związku z tym pojawiło się zwiększone zapotrzebowanie na ekrany elektromagnetyczne codziennego użytku. Nowoopracowane kompozyty polimerowe o właściwościach ekranujących mogą przyczynić się do poprawy jakości życia ludzi [1].

### **Podsumowanie**

Zaplanowane w prace badawcze są nakierowane na wypracowanie rozwiązań praktycznego zastosowania materiałów odpadowych i pochodzących z recyklingu w formie kompozytów elektrotechnicznych. Tego typu produkty są innowacyjne w skali nie tylko polskiej, ale również europejskiej, gospodarki. Testy laboratoryjne na etapie badań wstępnych pokazały, że technologia kompozytów elektrotechnicznych charakteryzuje się parametrami przewidzianymi przez modele analityczne oraz, że technologia posiada potencjał rozwojowy w kierunku praktycznego zastosowania.

### **Literatura**

- [1] Joseph, N., & Sebastian, M. T. (2013). Electromagnetic interference shielding nature of PVDF-carbonyl iron composites. *Materials Letters*, 90, 64-67.
- [2] Bambynek D., Jakubas A., Jabłoński P.: Badanie możliwości ekranowania pola elektromagnetycznego przez wybrane kompozyty polimerowe, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017, 1, 121-124,
- [3] Jakubas A., Gębara P., Seme S., Gnatowski A., Chwastek K., Magnetic Properties of SMC Cores Produced at a Low Compacting Temperature, *Acta Physica Polonica A*, 2017, vol. 131, no. 5, pp. 1289-1293, DOI: 10.12693/APhysPolA.131.1289,

# ANALIZA WPŁYWU PARAMETRÓW ROBOCZYCH ROBOTA PRZEMYSŁOWEGO NA ZUŻYCIE ENERGII ELEKTRYCZNEJ

**Beata JAKUBIEC**

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

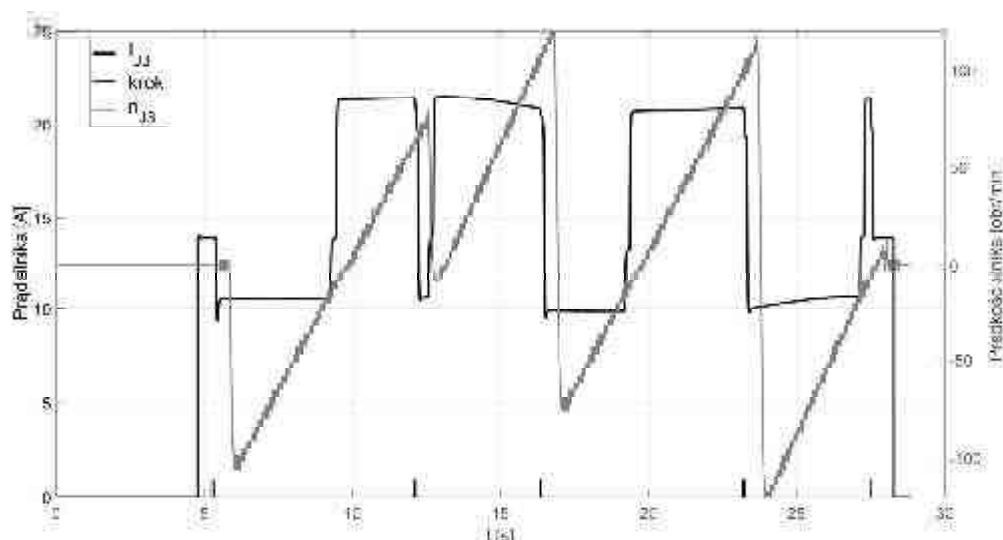
Dynamiczny rozwój automatyzacji procesów produkcyjnych wiąże się z rosnącym zainteresowaniem robotami przemysłowymi. Świadczą o tym chociażby raporty organizacji International Federation of Robotics, z których wynika, systematyczny coroczny, nawet kilkunastoprocentowy, przyrost liczby robotów instalowanych w przemyśle, jak i ogólnie wzrostowy trend aplikacji robotów w wielu innych zastosowaniach [6,7].

Z jednej strony robotyzacja produkcji w przedsiębiorstwie zapewnia większą precyzję, powtarzalność, szybkość działania, czy niezawodność realizowanego procesu. Jednak z drugiej wiąże się to z większą liczbą robotów stosowanych w procesie wytwórczym, czyli dodaniem do ciągu produkcyjnego kolejnych odbiorników energii elektrycznej. Powoduje to tym samym wzrost zapotrzebowania przedsiębiorstwa na energię elektryczną, co może przekładać się na podwyższenie kosztów produkcji. Poza aspektem ekonomicznym, wielkość zużywanej energii elektrycznej odgrywa również dużą rolę ze względów ekologicznych, tzn. emisji CO<sub>2</sub> do środowiska. Z tych powodów istotne staje się zatem zagadnienie minimalizowania energochłonności zadań realizowanych przez roboty. Cel ten może być osiągnięty przez doskonalenie konstrukcji robotów i stosowanie nowoczesnych energooszczędnych, wydajnych, wysokosprawnych oraz trwałych napędów elektrycznych w postaci np. silników z magnesami trwałymi [1,5]. Innym podejściem jest odpowiednie planowanie trajektorii, pozwalające określić ilość energii potrzebnej do realizacji ruchu robota. Jednakże metody te są najczęściej ukierunkowane na minimalizowanie czasu cyklu, co nie zawsze jest równoznaczne z minimalizacją wartości zużywanej przez robota energii elektrycznej [2,3].

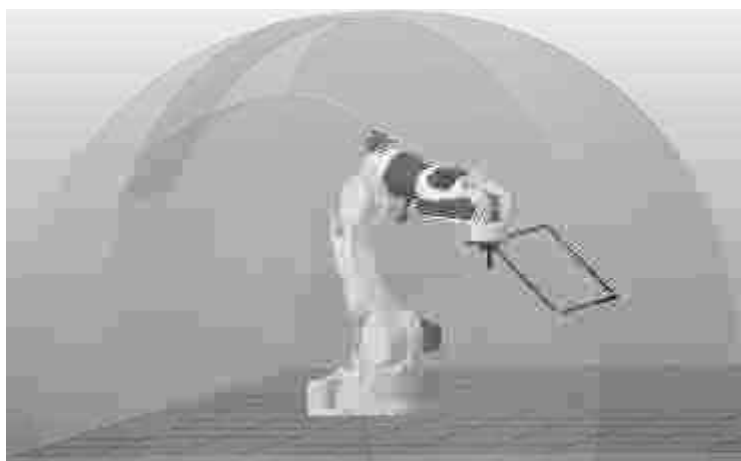
Celem artykułu jest analiza wpływu parametrów roboczych robota przemysłowego na wartość zużytej przez niego energii elektrycznej. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem środowiska do programowania off-line i symulacji pracy robotów. Eksperymenty symulacyjne dotyczyły robotów antropomorficznych o podobnym katalogowym zasięgu i poborze mocy, natomiast różniących się udźwigniem, masą, wielkością dopuszczalnych momentów w osiach i momentów bezwładności. Dla robotów przygotowano kilka algorytmów sterowania. Zaplanowane trajektorie usytuowano w kilku lokalizacjach przestrzeni roboczych. Następnie, dla zadanych różnych prędkości roboczych i obciążeń robotów, wykonano symulacje. Dla poszczególnych wariantów pracy notowano szacowane zużycie energii elektrycznej. Do rejestracji wybrano również inne wielkości charakteryzujące jakość pracy robotów, m. in. czas cyklu, szacowane prądy i prędkości silników osi. Uzyskane wyniki poddano analizie. Na rysunku 1 przedstawiono przebiegi prądu i prędkości silnika jednej z osi robota podczas przemieszczania TCP po zadanej trajektorii. Wirtualny model jednego z robotów z zaznaczoną przestrzenią roboczą oraz przykładową trajektorią badaną w trakcie symulacji zaprezentowano na rysunku 2.

Wykorzystanie gotowych narzędzi symulacyjnych oferowanych przez producentów robotów do analizy zachowania systemów zrobotyzowanych w różnych warunkach pracy pozwala na zaprojektowanie i zaprogramowanie stanowiska przemysłowego oraz szybkie wstępne oszacowanie wybranych parametrów eksploatacyjnych zastosowanych tam robotów.





Rys. 1. Przebieg czasowy prądu i prędkości silnika osi J3 robota [opr. wł. na podst. 4]



Rys. 2. Wirtualny model robota i zadana trajektoria ruchu [opr. wł. na podst. 4]

Zrealizowane badania modelowe wykazały związek między zużyciem energii elektrycznej robotów a prędkością ruchu robota oraz masą ładunku. Tym samym wskazuje to na konieczność poszukiwania kompromisu między prędkością roboczą i obciążeniem robota celem zmniejszenia energochłonności przemieszczania punktu TCP wzdłuż zadanej trajektorii przy zachowaniu zadowalającego czasu cyklu.

### Literatura

- [1] Bara, A., Rusu, C., Dale, S., DSP Application on PMSM Drive Control for Robot Axis, Proceedings of the 13th WSEAS International Conference on SYSTEMS, 2009.
- [2] Biagiotti L., Melchiorri C., Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots, Springer, 2008.
- [3] Hansen, C., Oltjen, J., Meike, D., Ortmaier, T., Enhanced Approach for Energy-Efficient Trajectory Generation of Industrial Robots, In: Proceedings of IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, CASE 2012.
- [4] Kawasaki, K-ROSET software from <https://robotics.kawasaki.com>, 2018.
- [5] Krishnan R.: Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives, CRC Press, 2009.
- [6] World Robotics 2018 Industrial Robots, International Federation of Robotics, 2018.
- [7] World Robotics 2019 Industrial Robots, International Federation of Robotics, 2019.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu O20/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# PRZETWARZANIE ODPOWIEDZI SENSORA D-DOT W OCENIE WŁASNOŚCI IMPULSÓW HPM

Jacek JAKUBOWSKI, Marek KUCHTA, Roman KUBACKI

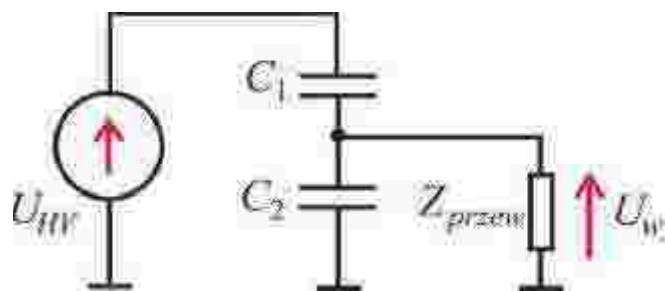
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

## Wstęp

Opracowanie algorytmów przetwarzania sygnałów HPM, które może być ukierunkowane na ocenę własności budowanych źródeł oraz wyznaczenie wartości parametrów decydujących o skutkach wpływu wytwarzanych przez nie impulsów na infrastrukturę krytyczną, to zadanie wymagające wstępnej oceny charakteru odbieranych zaburzeń pola elektromagnetycznego oraz analizy własności toru pomiarowego. To pierwsze jest związane z faktem istnienia wielu rodzajów generatorów, które wymagają dedykowanych metod przetwarzania, to drugie będzie służyło realizacji pośredniego zadania o charakterze odwrotnym, tj. rekonstrukcji pierwotnego zaburzenia na podstawie bezpośrednio mierzonego sygnału wyjściowego. W referacie przedstawiono wpływ zakłóceń i elementów toru pomiarowego na postać algorytmu przetwarzania oraz zaprezentowano wyniki jego zastosowania w pomiarach pola elektrycznego dwu rzeczywistych źródeł HPM.

## Sensor pola elektrycznego

Rozwój technologii przetworników A/C, w które obecnie wyposaża się szybkie oscyloskopy cyfrowe doprowadził w ostatnich latach do upowszechnienia się konwencjonalnej metody, w której emitowane pole elektromagnetyczne reprezentowane jest przez przebieg czasowy napięcia na wyjściu pasywnego sensora reagującego na obecność pola elektrycznego (tzw. sonda D-dot). Schemat zastępczy takiego sensora można przedstawić w postaci dzielnika napięcia jak na rys. 1. W układzie tym wyróżnia się pojemność  $C_1$  utworzoną przez elektrodę wewnętrzną i końcówkę przewodu sygnałowego, pojemność  $C_2$  będącą pojemnością elektrody wewnętrznej względem masy oraz impedancję przewodu łączącego  $Z_{przew}$ . Sensor przetwarza wysokie napięcie  $U_{HV}$  pochodzące od badanego pola elektrycznego na napięcie wyjściowe  $U_{wy}$ .



Rys. 1. Schemat zastępczy sensora D-dot [1]

W praktyce rozwiązań rynkowych często spotyka się układy, w których czynnik o charakterze stałej czasowej  $Z_{przew}(C_1+C_2)$  pozostaje bardzo mały w zakresie częstotliwości nawet do ok. 10GHz. Wówczas transmitancja sensora upraszcza się do postaci:

$$H_{Ddot}(j\omega) = j\omega Z_{przew} C_1, \quad (1)$$

która w dziedzinie czasu odpowiada operacji różniczkowania. Oznacza to, że napięcie wyjściowe z sensora jest proporcjonalne do pochodnej pola wymuszającego.

### Rekonstrukcja przebiegu pola elektrycznego

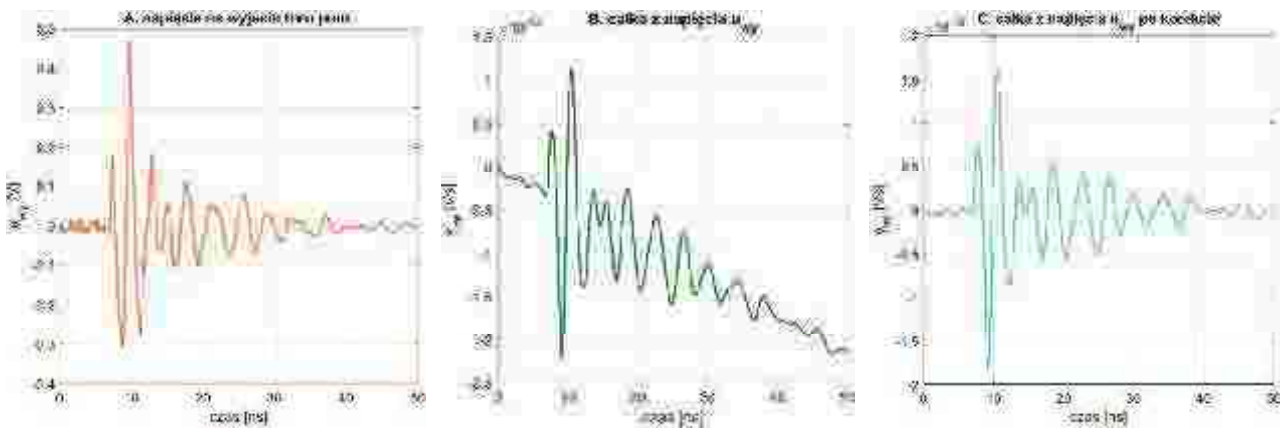
Z punktu widzenia algorytmicznej rekonstrukcji wymuszenia konieczne jest więc zastosowanie operacji odwrotnej, czyli całkowania. Ilościowe określenie pola elektrycznego  $E(t)$  docierającego do anteny w tradycyjnym układzie pomiarowym zasadza się więc na zależności:

$$E(t) = A_k \cdot y_{\text{int}}(t), \quad (2)$$

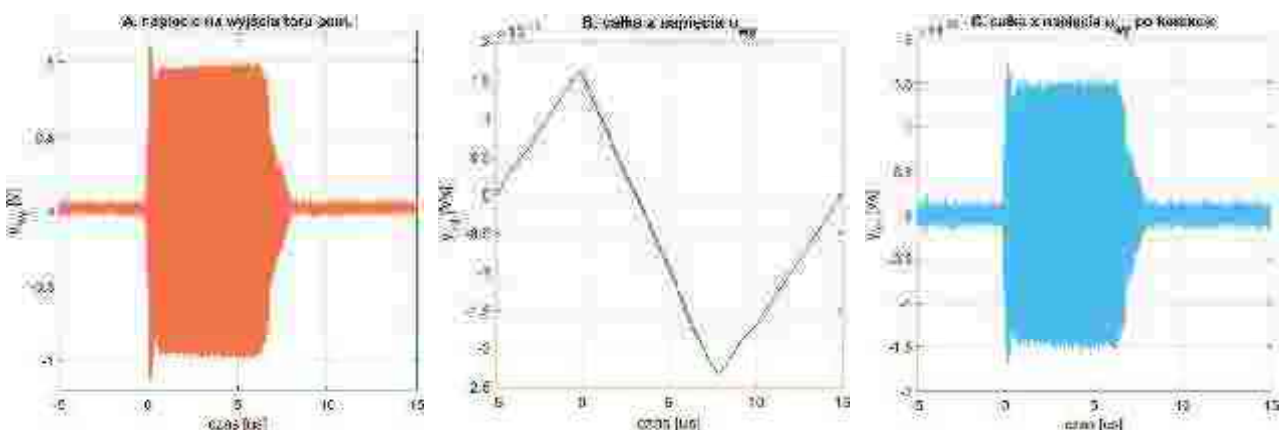
w której  $y_{\text{int}}(t)$  jest całką z napięcia przetworzonego przez część analogową toru pomiarowego o właściwościach określonych przez jego budowę a  $A_k$  reprezentuje współczynnik proporcjonalności wyrażający te właściwości w sposób ilościowy. Należą do nich impedancja i powierzchnia skuteczna anteny oraz tłumienie elementów toru. Przy dostatecznie dużej częstotliwości próbkowania, całkowanie sygnału dyskretnego można zrealizować za pomocą filtru cyfrowego, przybliżającego dla sygnałów dyskretnych transmitancję  $1/s$ , np. metodą trapezów.

### Przetwarzanie sygnałów rzeczywistych źródeł HPM

Badaniom z wykorzystaniem sondy D-dot w torze pomiarowym oraz przetwornika A/C o częstotliwości próbkowania 10GHz poddano sygnały pola wytwarzane przez generator Marxa oraz magnetron. Wyniki rejestracji oraz operacji całkowania przedstawiono kolejno na rys. 2 i 3.



Rys. 2. Przetwarzanie rzeczywistych impulsów HPM pochodzących z generatora Marxa



Rys. 3. Przetwarzanie rzeczywistych impulsów HPM pochodzących z magnetronu

Przedstawione na rys. 2B i 3B przebiegi dowodzą obecności w zarejestrowanych sygnałach zakłóceń, które w sposób niekorzystny wpływają na operację całkowania. Skutkują one powstaniem w sygnale wyjściowym silnych zniekształceń o charakterze trendu i mogą być powodowane występowaniem składowych polaryzacyjnych, wolnozmiennych dryfów lub zakłóceń.

### **Podsumowanie**

Usunięcie obserwowanych zakłóceń jest zależne od długości sygnału. Przy sygnałach krótkich, rzędu pojedynczych nanosekund (rys. 2A), do przeprowadzenia korekty wystarczające jest usunięcie średniej. Przy sygnałach długich, rzędu mikrosekund (rys. 3A), konieczne jest zastosowanie górnoprzepustowego filtra cyfrowego o odpowiedniej częstotliwości granicznej.

### **Literatura**

- [1] J. Wang, C. Gao, J. Yang, Design, *Experiments and Simulation of Voltage Transformers on the Basis of a Differential Input D-dot Sensor*, Sensors, vol. 14, 2014, ss. 12771-12783.

# THE USE OF MICROWAVE RADIATION WITH A FREQUENCY OF 2.45 GHZ AS A FACTOR REDUCING THE STORAGE LOSSES OF POTATO TUBERS

Tomasz JAKUBOWSKI<sup>1</sup>, Serhiy SYROTYUK<sup>2</sup>, Kateryna YANKOVSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Rolniczy, Kraków

<sup>2</sup> Lviv National Agricultural University, Lviv

## Introduction

Storage of potato tubers ensures their availability when the plants do not produce tubers. At the same time, correct storage of potato tubers significantly reduces the storage losses. Crop protections (mainly chemical) can be used during storage, protecting against agrophages and affecting the life processes of the tuber (Jakubowski, 2019). Application of some physical methods on biological objects can be an alternative to chemicalization of agriculture (Asmamaw et al., 2010, Driskill et al., 2007). Many studies have proved that physical action on plants complements the agricultural practices used (Aladjadjian 2010, Ashrafijou et al. 2010, Chen et al. 2010, Moghaddam et al., 2011, Rivera et al., 2012, Tůmová et al., 2014, Aguilar et al. 2015, Kovalyshyn et al., 2015, Pietruszewski et al., 2015). The impact of physical methods on potato plants (*Solanum tuberosum* L.) was examined by Jakubowski (2010) in terms of action of microwaves of varying frequency. The goal of the paper is to evaluate the suitability of microwave radiation in reducing the potato tubers storage losses.

## Materials and Methods

The experiment was conducted between 2015 and 2018 for three consecutive storage seasons (Table 1). The assumption was that the microwaves will significantly influence the storage losses of potato tubers in all years of the experiment.

**Table 1.** Experiment layout and symbols

Storage season	Potato variety	Combination of experiment	Combination symbol
2015-2018		Control	L-k, O-k, V-k, D-k, F-k, T-k
2015-2018	<i>Lord, Owacja, Vineta, Ditta, Finezja, Tajfun</i>	tubers irradiation with microwaves	L-m, O-m, V-m, D-m, F-m, T-m
2017-2018		tubers irradiation with microwaves + sprout inhibitor	L-m+i, O-m+i, V-m+i, D-m+i, F-m+i, T-m+i

The experiment was conducted on potato tubers (*Solanum tuberosum* L.) from six edible varieties of varying earliness and different use (Lord, Owacja, Vineta, Ditta, Finezja and Tajfun). The subject of the experiment was the amount of total potato tubers storage losses. The natural and waste losses were examined. Storage durability indices were determined: total losses, mass loss caused by tuber respiration and transpiration, losses due to germination, and waste losses caused by storage diseases (waste tubers with rot symptoms). The statistical analysis was performed using the STATISTICA 10 package with the assumed significance level of  $\alpha=0.05$ .

## Results and Discussion

The tuber mass variation index (quotient of standard deviation and arithmetic mean) was in the 10.9-26.4% range. The microwave power absorbed by the tubers during irradiation was in the 1.1-1.21

[W] range. The calculated values which define the storage durability of potato tubers, in individual combinations of the experiment, are shown in Table 2.

**Table 2** Values of storage evaluation indices, values for the control group are given in parentheses, combination with germination index is marked with (\*)

Years of research	Variety	Indices of storage evaluation (%)			
		$L_t$	$L_n$	$L_k$	$L_i$
2015-2018	Lord	17,4 (17,0)	8,4 (8,2)	2,1 (1,7)	6,9 (7,1)
	Owacja	16,8 (16,5)	7,8 (7,4)	1,8 (1,7)	7,2 (7,4)
	Vineta	17,1 (16,7)	8,1 (7,8)	1,9 (1,7)	7,1 (7,2)
	Ditta	16,6 (16,3)	7,9 (7,7)	1,7 (1,6)	7,0 (7,0)
	Finezja	17,0 (16,7)	7,9 (7,8)	1,9 (1,8)	7,2 (7,1)
	Tajfun	16,5 (16,5)	8,0 (7,9)	1,6 (1,6)	6,9 (7,0)
2017-2018	Lord*	16,3 (16,2)	7,5 (7,3)	1,3 (1,5)	7,5 (7,4)
	Owacja*	16,2 (16,2)	7,5 (7,4)	1,4 (1,4)	7,3 (7,4)
	Vineta*	16,3 (16,4)	7,4 (7,0)	1,3 (1,5)	7,6 (7,9)
	Ditta*	15,9 (16,1)	7,2 (7,0)	1,1 (1,4)	7,6 (7,7)
	Finezja*	16,3 (16,4)	7,5 (7,5)	1,3 (1,3)	7,5 (7,6)
	Tajfun*	16,0 (16,2)	7,0 (6,9)	1,1 (1,4)	7,9 (7,9)

(total loss index -  $L_t$ , natural loss -  $L_n$ , germination loss  $L_k$ , disease loss index -  $L_i$ )

## Conclusions

The Lord variety responded to the microwave radiation with reduced infestation of tubers by *Rhizoctonia solani* Kühn. The Lord, Owacja, Vineta and Finezja varieties responded to the microwave radiation with greater mass and number of germs on the tubers. As an independent treatment, the microwave-based physical method does not guarantee a better storage durability of potatoes.

## REFERENCES

- Aguilar H, Pacheco D, Flavio A, Orea C (2015) Thermal effects of laser irradiation on maize seeds. *International Agrophysics* 29(2):147-156
- Aladjadjiyan A (2010) Effect of microwave irradiation on seeds of lentils (*Lens Culinaris*, Med.). *Romanian Journal of Biophysics* 20(3):213-221
- Ashrafijou M, Noori S, Darbandi I, Saghafi S (2010) Effect of salinity and radiation on proline accumulation in seeds of canola (*Brassica napus* L.). *Plant Soil and Environment* 56(7):312-317
- Asmamaw Y, Tekalign T, Workneh TS (2010) Specific gravity, dry matter concentration, pH, and crispmaking potential of Ethiopian potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars as influenced by growing environment and length of storage under ambient conditions. *Potato Research* 53:95-10
- Chen Y, Jia J, Yue M (2010) Effect of CO<sub>2</sub> Laser radiation on physiological tolerance of wheat seedlings exposed to chilling stress. *Photochemistry and Photobiology* 86(3):600-605
- Czerko Z, Zgórska K, Grudzińska M (2012) Comparison of potato varieties in terms of response to inhibitors of sprouting. *Biuletyn IHAR* 266:121-130
- Driskill E, Knowles L, Knowles N (2007) Temperature-induced changes in potato processing quality during storage are modulated by tuber maturity. *Am J Potato Res* 84:367-383
- Jakubowski W, Biliński T, Bartosz G (2000) Oxidative stress during aging of stationary cultures of the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Free Radical Biology and Medicine* 28(5):659-664
- Jakubowski T (2010) The impact of microwave radiation at different frequencies on weight of seed potato germs and crop of potato tubers. *Agricultural Engineering* 6(124):57-64

- Jakubowski T. (2019) Effect of microwave radiation on reduction of potato of tubers storage losses – evaluation of suitability, AMA-Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America, vol. 50(4):1-1
- Kovalyshyn S, Konyk G (2015) Using of pre-sowing electrostimulation of seeds of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) for the creation of initial breeding material. Acta Agrophysica 22(1):55-66
- Moghaddam S, Jaafar H, Ibrahim R, Rahmat A, Aziz M, Philip E (2011) Effects of acute gamma irradiation on physiological traits and flavonoid accumulation of *Centella asiatica*. Molecules 16:4994-5007
- Pietruszewski S, Martínez E (2015) Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material International Agrophysics 29:377-389
- Rivera A, Gómez-Lim F, Fernández A, Loske A (2012) Physical methods for genetic plant transformation. Physics of Life Reviews 9(3):308-345
- Tůmová L, Tůma J, Hendrychová H (2014) Effect of ultrasound on the isoflavonoid production in *Genista tinctoria* L. suspension cultures. Pharmacognosy Magazin 10:425-429

# ANALIZA WŁAŚCIWOŚCI EKRANUJĄCYCH OSŁON GŁOWY WYKONANYCH Z MATERIAŁÓW PRZEWODZĄCYCH W ZASTOSOWANIU DO SYSTEMÓW ŁĄCZNOŚCI BEZPRZEWODOWEJ PIĄTEJ GENERACJI

Łukasz JANUSZKIEWICZ

Politechnika Łódzka, Instytut Elektroniki

W ostatnim czasie można zaobserwować rosnące zainteresowanie społeczeństwa zagadnieniami związanymi z oddziaływaniem fal elektromagnetycznych na ciało człowieka. Ta tematyka jest szczególnie istotna dla ludzi odczuwających strach przed skutkami promieniowania EM emitowanego przez systemy radiokomunikacji ruchomej, co dotyczy w szczególności systemów piątej generacji (5G) [1]. W rezultacie tych obaw wielu ludzi samodzielnie wykonuje i stosuje improwizowane osłony głowy, wykonane z materiałów przewodzących takich jak np. cienka folia aluminiowa [2]. Rozwiązania tego typu powstają spontanicznie, nie uwzględniając rezultatów prac naukowych prowadzonych w oparciu o badania oddziaływań elektromagnetycznych fal z organizmem człowieka [3-4]. Często, są jedynie rezultatem twórczego przetworzenia pewnych obserwacji łączących materiały przewodzące z konstrukcjami ekranującymi pola elektromagnetyczne.

W artykule dokonano analizy właściwości ekranujących improwizowanych osłon głowy wykonanych z materiałów przewodzących. W celu weryfikacji zasadności stosowania takich rozwiązań do ekranowania pól wytwarzanych przez nadajniki systemów piątej generacji przeprowadzono badania z wykorzystaniem symulacji elektromagnetycznych i numerycznego modelu ciała człowieka.

Analiza oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego i tkanek ludzkiego ciała została przeprowadzona za pomocą programu Remcom Xfdtd wykorzystującego metodę różnic skończonych w dziedzinie czasu (FDTD). Zastosowano heterogeniczny model głowy utworzony z wokseli o długości krawędzi równej 1mm. Eksperyment numeryczny polegał na przeprowadzeniu symulacji ekspozycji na falę elektromagnetyczną modelu głowy (rys. 1a) oraz modelu głowy otoczonej improwizowaną osłoną elektromagnetyczną (rys. 1b) wykonaną z materiału dobrze przewodzącego prąd elektryczny (modelowanego przez idealny przewodnik) o grubości 1 mm. Badano ekspozycję ciała na falę emitowaną w kierunku twarzy, o polaryzacji liniowej pionowej i częstotliwości typowej dla systemów piątej generacji tj. 3,55 GHz oraz dla częstotliwości 850 MHz stosowanej w systemach czwartej generacji. Założono maksymalne dopuszczalne natężenie składowej elektrycznej wynoszącej 61 V/m [5].

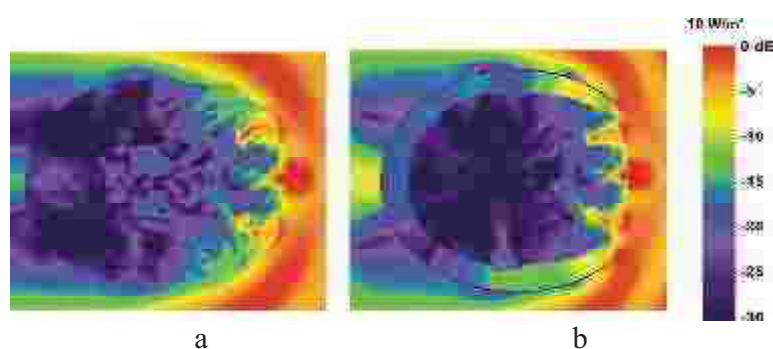
W wyniku przeprowadzonych symulacji nie zaobserwowano znaczącego obniżenia gęstości mocy w obszarze głowy osłoniętej improwizowaną osłoną elektromagnetyczną, w przypadku ekspozycji na falę emitowaną w kierunku twarzy, co pokazano na rys. 2. Wprowadzenie osłony zmienia w niewielkim stopniu rozkład gęstości mocy, co ilustrują dane uzyskane dla obszaru oka (rys. 3). W przypadku nieosłoniętej głowy, w obszarze ciała szklistego znajdującego się tuż za soczewką, gęstość mocy wynosi  $0,3 \text{ W/m}^2$  natomiast w przypadku zastosowania osłony, w tym samym punkcie gęstość mocy wynosi  $0,8 \text{ W/m}^2$ . Wartość maksymalna gęstości energii dla obszaru oka zmieniła się po zastosowaniu ekranu z 7,9 na  $6,3 \text{ W/m}^2$ . W pełnej wersji referatu przedstawiono pozostałe wyniki symulacji uzyskane dla innych konfiguracji eksperymentu numerycznego.



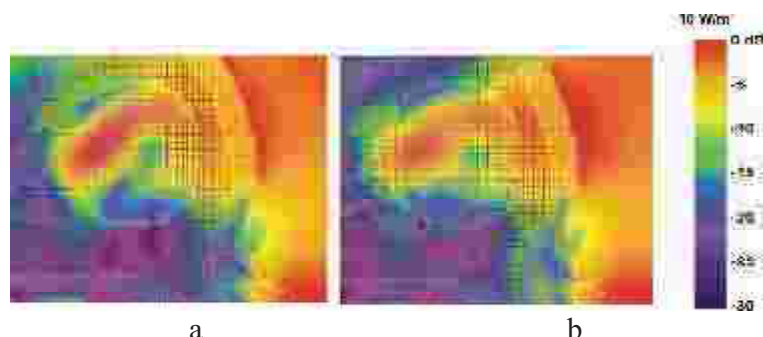
Znaczącą skuteczność ekranowania można uzyskać stosując osłony przewodzące zabezpieczające głowę wraz z twarzą. Przykład takiej osłony przedstawiono na rys. 4. Uzyskano dla niej zmniejszenie gęstości mocy o ponad 20 dB. Aby umożliwić praktyczną realizację takiego rozwiązania należałoby jednak zastosować półprzezroczyste materiały przewodzące, które powinny być umieszczone na wysokości oczu. Może to stanowić pewne ograniczenie w realizacji zaproponowanego ekranu.



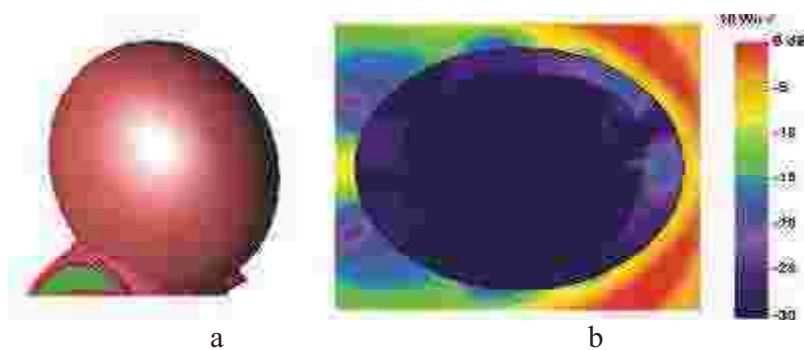
**Rys. 1.** Numeryczny model głowy (a) oraz model głowy zabezpieczonej improwizowaną osłoną elektromagnetyczną (b)



**Rys. 2.** Rozkład gęstości mocy dla częstotliwości 3,55 GHz na wysokości oczu; a – bez osłony, b – z osłoną



**Rys. 3.** Rozkład gęstości mocy dla częstotliwości 3,55 GHz w obszarze gałki ocznej; a – bez osłony, b – z osłoną



**Rys. 4.** Osłona przewodząca głowy i twarzy; a – widok, b – rozkład gęstości mocy dla częstotliwości 3,55 GHz

## Literatura

1. K. Pretz, „Will 5G Be Bad for Our Health?”, IEEE Spectrum, 12 Nov 2019, <https://spectrum.ieee.org/news-from-around-ieee/the-institute/ieee-member-news/will-5g-be-bad-for-our-health>
2. M. Goldsby, W. J. Koolage, „Should You Be Wearing a Tinfoil Hat” w: R. Greene, R. Robison-Greene, „Conspiracy Theories: Philosophers Connect the Dots”, Open Court Publishing 2020
3. P.K. Dutta, P.V.Y. Jayasree, V.S.S.N.S. Baba, „SAR reduction in the modelled human head for the mobile phone using different material shields”. Hum. Cent. Comput. Inf. Sci. 6, 3 (2016)
4. B. Tomovski, F. Gräbner, A. Hungsberg, Ch. Kallmeyer, M. Linsel, „Effects of Electromagnetic Field Over a Human Body, Sar Simulation with and Without Nanotextile in the Frequency Range 0.9-1.8GHz”, Journal of Electrical Engineering. 62. 349-354. 10.2478/v10187-011-0055-6.
5. Dziennik Ustaw 2019poz. 2448, „Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku”

# WPŁYW ODDZIAŁYWANIA STAŁEGO POLA ELEKTRYCZNEGO NA INTENSYWNOŚĆ I STRUKTURĘ LUMINESCENCJI WTÓRNEJ WYBRANYCH PRODUKTÓW Z KONOPI PRZEMYSŁOWEJ

Tadeusz JULISZEWSKI, Anna MIERNIK, Tomasz DRÓŹDŹ, Piotr NAWARA,  
Ernest POPARDOWSKI, Karolina TRZYNIC, Bartłomiej WIŚNIEWSKI

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki,  
Uniwersytet Rolniczy, Kraków

## Wstęp

Powszechnie uważa się, że istnieje tylko jeden rodzaj konopi – konopie indyjskie (*Cannabis sativa* L. var. *indica*). Swoją dużą popularność zawdzięczają przede wszystkim swoim zastosowaniom – głównie halucynogennym i leczniczym. Jednak do tego gatunku należą także konopie siewne (*Cannabis sativa* L. var. *sativa*), nazywane również włóknistymi. Konopie są odporne, a także doskonale adaptują się do różnych warunków klimatycznych. Konopie wytwarzają swoiste związki zwane kannabinoidami. Badania wykazały istnienie ponad 60 różnych kannabinoidów, ale spośród nich THC jest najbardziej poznanym ze względu na działanie psychoaktywne i lecznicze [1]. Zjawisko emisji fotonowej odkryto w wielu mikroskopowych jak i makroskopowych układach, w tym m.in. w układach lipidowych [6,7,8,9]. Systemy biologiczne emitują bardzo słabe światło bez żadnych zewnętrznych bodźców. Zjawisko to, obecnie jest powszechnie określane jako ultra-słaba emisja fotonowa. Można wyróżnić dwa rodzaje ultra-słabej emisji fotonów – spontaniczną i indukowaną. Określenie jakości żywności jest najważniejszym elementem pozwalającym na wprowadzenie produktu na rynek.

## Cel zakres i metodyka badań

Celem pracy było określenie wielkości i struktury luminescencji wtórnej generowanej przez konopie przemysłowe o różnej specyfikacji i stopniu przetworzenia. Ponadto została sporządzona charakterystyka emisji fotonów w funkcji czasu ekspozycji materiału oraz charakterystyka wielkości emisji w przypadku wymuszenia generowanego oddziaływaniem stałego pola elektrycznego o napięciu 2 kV i 3,3 kV. Zakres pracy obejmował pomiar emisji fotonów z 20 próbek konopi o różnej specyfikacji spożywczej oraz produkcyjnej. Pomiar emisji fotonów realizowany jest poprzez zastosowanie fotopowielacza. Fotopowielacz składa się z fotokatody, emitującej elektrony pod wpływem padającego na nią promieniowania elektromagnetycznego układu dynod, powielającego liczbę elektronów dzięki zjawisku emisji wtórnej; elektronoopt. układu wejściowego wytwarzającego pole elektryczne ogniskujące elektrony wychodzące z fotokatody na pierwszej dynodzie, anody i elektrod dodatkowych (rys. 1a).

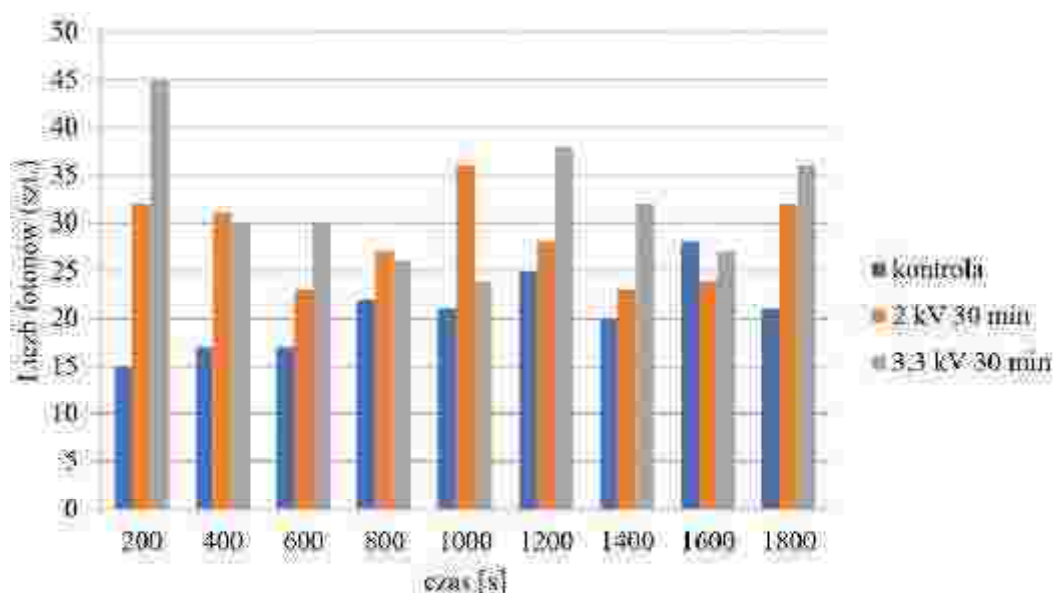


**Rys. 1.** Stanowisko badawcze: a) – do badania ultrasłabej emisji fotonowej (a – element światłoczuły (fotopowielacz R 1538-13), b – komora światłoszczelna, c – interfejs urządzenia, d – jednostka centralna (komputer), e – interfejs programu BioLumisyna), b – do oddziaływania stałym polem elektrycznym

Oddziaływanie stałym polem elektrycznym zrealizowano na stanowisku laboratoryjnym (rys.1b) składającego się z: generatora impulsów wysokiego napięcia, systemu kontroli umożliwiającego zmianę częstotliwości impulsów oraz interwału czasowego pomiędzy nimi, komory, w której umieszczone są dwie płaskie elektrody, gdzie umieszcza się materiał stymulowany.

### Wyniki badań

Odnotowano, że sumaryczna liczba fotonów emitowanych przez susz konopny wyniosła dla kontroli: 186, dla pola 2kV: 256, oraz dla pola 3,3kV: 288. Najwyższa wartość równa 45 przypada na pierwsze trzy minuty pomiaru, wystąpiła ona podczas pomiaru dla pola 3,3kV. W późniejszych interwałach czasowych emisja dla wszystkich trzech pomiarów zapisała się na wzór wykresu sinusoidalnego. Najniższą wartość jaka została zarejestrowana wyniosła 15 dla pomiaru kontrolnego w przedziale 1-200 s.



**Rys. 2.** Charakterystyka emisji fotonów dla funkcji czasu dla suszu konopnego

Analizując strukturę emisji fotonów w odniesieniu do czasu ekspozycji można zauważyć, że we wszystkich próbkach największa zarejestrowana wartość wyniosła 15,625% dla pola 3,3kV i nastąpiła w przedziale czasowym 1-200 s, a najniższa wartość wyniosła 8,06% dla kontroli.

### **Wnioski**

Stwierdzono, że stymulacja stałym polem elektrycznym zwiększała emisje fotonów ze wszystkich badanych substancji bez względu na interwał czasowy ich stymulacji, natomiast wzrost wartości napięcia elektrycznego powyżej 3,3 kV nie powodował dalszego wzrostu emisji fotonowej, tylko jej regres. Analiza struktury emisji fotonów w wyznaczonych odcinkach czasowych nie wykazała istotnych różnic między materiałem stanowiącym próbę kontrolną a materiałem stymulowanym stałym polem elektrycznym. Zatem wydaje się, że efekt stymulacji badanych substancji jest długotrwały a nie chwilowy. Zaobserwowano niewielkie zróżnicowanie w zmienności emisji fotonowej w przypadku wszystkich kombinacji doświadczenia, która wyrażona współczynnikiem zmienności nie przekraczała 15%, a inne wartości miały charakter incydentalny.

### **Literatura**

- [1] Kiewski R., Pniewska I., Kubacki A., Strzelczyk M., Chydy M., Oleszak G. 2017. Konopie siewne (*Cannabis sativa* L.)- wartościowa roślina użytkowa i lecznicza. *Post. Fitoter.* 18(2), 139-144.
- [2] Oziębłowski M., Dróżdż M., Kielbasa P., Dróżdż T., Gąsiorski A., Nawara P., Tabor S., Ultraślaba luminescencja (USL) jako potencjalna metoda oceny jakości żywności tradycyjnej, *Przegląd Elektrotechniczny.* 93 (2017), n. 12, 131–134.
- [3] Trzyniec K., Kielbasa P., Oziębłowski M., Dróżdż M., Nawara P., Posyłek Z., Leja R. Using photons emission to evaluate the quality of apples. *Przegląd Elektrotechniczny* (2017), nr 12, s. 183-187.
- [4] Borc R., Jaśkowska A., Dudziak A., Ultraślaba emisja fotonowa z układów żywych, *Politechnika Lubelska* (2015), ISBN 978-83- 7947-164-5.
- [5] Laager F.M., Becker N.M., Park S.H., Soh K.S., Effects of Lac operon activation, deletion of the *Yhha* gene, and the removal of oxygen on the ultraweak photon emission of *Escherichia coli*, *Electromagnetic Biology and Medicine*, (2009), 28 pp. 240– 249.

# OBJAWY ZWIĄZANE Z IDIOPATYCZNĄ NIETOLERANCJĄ ŚRODOWISKOWĄ PRZYPISYWANĄ DZIAŁANIU PÓL ELEKTROMAGNETYCZNYCH (IEI-EHS) – BADANIE KWESTIONARIUSZOWE

Artur KACPRZYK<sup>1,2</sup>, Gabriela KANCLERZ<sup>3</sup>, Urszula SOŁDAJ<sup>3</sup>, Eugeniusz ROKITA<sup>1</sup>,  
Bartosz LISOWSKI<sup>1</sup>, Grzegorz TATOŃ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zakład Biofizyki, Katedra Fizjologii, Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

<sup>2</sup> Szkoła Doktorska Nauk Medycznych i Nauk o Zdrowiu,  
Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

<sup>3</sup> Studenckie Koło Naukowe Biofizyki Medycznej,  
Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Kraków

## Wstęp

Idiopatyczna nietolerancja środowiskowa przypisywana działaniu pól elektromagnetycznych (ang. idiopathic environmental intolerance attributed to electromagnetic fields, IEI-EMF) polega na występowaniu niespecyficznych objawów u osób określające się jako elektrowrażliwe (OE), które przypisywane są z ekspozycji na pola elektromagnetyczne (PEM) pochodzące z różnorodnych źródeł [1]. Objawy podmiotowe i fizykalne prezentowane przez OE różnią się osobniczo i populacyjnie. Celem badania była analiza objawów zgłaszanych przez OE będących następstwem ekspozycji na PEM, a także analiza ich zależności od danych demograficznych respondentów.

## Materialia i metody

Badanie zostało przeprowadzone za pomocą formularza internetowego. Kwestionariusz składał się 32 pytań obejmujących dane demograficzne (rok urodzenia, płeć, kod pocztowy miejsca pracy i zamieszkania) i ocenę stanu zdrowia (choroby przewlekłe, przyjmowane leki, przebyte schorzenia i zabiegi operacyjne) oraz potencjalnej elektrowrażliwości badanych.

Uczestnicy byli klasyfikowani jako osoby potencjalnie elektrowrażliwe, jeśli odpowiedzieli twierdząco na pytanie “Czy urządzenia elektryczne/elektroniczne/telekomunikacyjne wpływają niekorzystnie na Pani/Pana samopoczucie?” i zaznaczyli co najmniej jedno urządzenie, którego w ich ocenie wpływa na nich negatywnie. Badany miał możliwość wskazania swoich objawów przypisywanych PEM, oceny ich nasilenia w 6-stopniowej skali (od 0 do 5) i oszacowania długość ich trwania. Na etapie oceny statystycznej przeanalizowane zostały zależności pomiędzy raportowymi objawami, a cechami demograficznymi badanych takich jak wiek (poniżej vs. powyżej mediany dla całej grupy), płeć, stopień urbanizacji środowiska pracy i zamieszkania (miejskie vs. wiejskie), oraz odległość od najbliższej stacji bazowej telefonii komórkowej (SBTK) (<1500 metrów vs. ≥1500 metrów lub brak wiedzy o odległości od SBTK).

## Wyniki

Spośród 1028 respondentów, którzy poprawnie wypełnili cały kwestionariusz, 408 zostało zaklasyfikowanych jako OE. Niemal 71% badanych stanowiły kobiety. Średnia wieku całej grupy wyniosła 33 lata (±14,4). Większość nie cierpiała na żadną chorobę przewlekłą (287, 70,3%) i żyła na

terenie wysoce zurbanizowanym (297, 72,8%). Wśród wskazywanych chorób najczęściej występowały alergię (66, 16,2%), nadciśnienie tętnicze (47, 11,5%) oraz choroby skóry (43, 10,5%).

Najczęściej wskazywane objawy związane z ekspozycją na PEM to zmęczenie (326, 79,9%), ból głowy (303, 74,3%) oraz ból oczu (278, 68,2%). Ponadto, innymi często wskazywanymi symptomami były rozdrażnienie (269, 65,9%), trudności z koncentracją (261, 64,0%), problemy z zasypianiem (166, 40,7%), niepokój (151, 37,0%), senność (130, 31,9%) i wybudzanie ze snu (114, 27,9%). Starsi respondenci zgłaszali więcej objawów w porównaniu do młodszych (młodzi vs. starsi; średnia  $\pm$  SD:  $6,6 \pm 3,3$  vs.  $8,0 \pm 4,2$ ;  $p < 0,01$ ) i częściej wiązali ból głowy ( $p=0,03$ ), ból oczu ( $p=0,01$ ), niepokój/rozdrażnienie ( $p < 0,01$ ), nieprzyjemne wrażenia słuchowe ( $p=0,01$ ), dolegliwości sercowo-naczyniowe ( $p=0,01$ ) i łzawienie ( $p=0,03$ ) z ekspozycją na PEM. Młodzi uczestnicy natomiast częściej wskazywali senność ( $p=0,02$ ) oraz nieprzyjemne wrażenia wzrokowe ( $p=0,04$ ) jako skutek ekspozycji. Mężczyźni w porównaniu do kobiet istotnie częściej skarżyli się na ból oczu (mężczyźni vs. kobiety; 45,0% vs. 26,4%,  $p < 0,01$ ) w efekcie ekspozycji na PEM.

Nasilenie dolegliwości najczęściej określane było na 3 w sześć-stopniowej skali (192, 47,1%) i było ono istotnie większe pośród starszych ankietowanych ( $p=0,01$ ). Średni czas trwania objawów wynosił 60 godzin ( $\pm 440,0$ ) dla całej analizowanej grupy i był dłuższy w grupie starszych uczestników (młodzi vs. starsi, średnia  $\pm$  SD:  $39 \pm 95$  vs.  $82 \pm 610$ ,  $p=0,02$ ).

Analiza zgłaszanych objawów w podgrupach wyodrębnionych na podstawie miejsca zamieszkania i pracy oraz odległości miejsca zamieszkania od najbliższej SBTk nie wykazała żadnych różnic istotnie statystycznych.

## Wnioski i dyskusja

Przeprowadzone badanie pokazuje, że objawy zgłaszane przez osoby elektrowrażliwe są bardzo różnorodne i liczne, jednak większość z nich stanowią objawy niespecyficzne, trudne do obiektywnej oceny przez lekarza. Starsi badani wskazywali większą liczbę objawów o większym nasileniu, co sugeruje że starsze osoby są bardziej zaniepokojone wpływem PEM na zdrowie. Nie odnotowano istotnych różnic w zgłaszanych objawach pomiędzy mieszkańcami miast i wsi, oraz zróżnicowania pod względem odległości od SBTk, co pośrednio wskazuje na brak zależności między ekspozycją na PEM a odczuwanymi objawami.

W międzynarodowej literaturze analizowany problem opisywany był w odniesieniu do różnorodnych populacji, m. in. japońskiej [2], holenderskiej [3], szwajcarskiej [4], austriackiej [5], szwedzkiej [6] i brytyjskiej [7]. Objawy zgłaszane przez OE w tych krajach również cechują się znaczną różnorodnością i są trudne do obiektywnej oceny. Najczęściej zgłaszanymi symptomami w populacji japońskiej, holenderskiej, szwajcarskiej, austriackiej, szwedzkiej i brytyjskiej były odpowiednio zmęczenie (85,3%), kołatania serca (16,7%), senność w ciągu dnia (34,0%), meteoropatia (16,4%), zmęczenie (32,0%) i ból głowy (70,4%). W cytowanych badaniach zgłaszano także objawy zupełnie odmienne od obserwowanych w opisywanym projekcie, np. sztywności karku i zawroty głowy w populacji elektrowrażliwych w Japonii, czy ból mięśni w grupie holenderskiej.

Analiza częstości poszczególnych objawów w różnych populacjach wskazuje, że IEI-EMF nie ma jednorodnego obrazu klinicznego, a zgłaszane symptomy różnią się znacząco. W przyszłych badaniach niezbędne jest przyjęcie jednorodnej, ogólnie akceptowalnej definicji elektrowrażliwości, co umożliwi dokładne określenie skali zjawiska i pozwoli na wprowadzenie stosownych rozwiązań w celu pomocy dotkniętym pacjentom.

## Literatura

- [1] WHO. Fact Sheet: Electromagnetic fields and public health [Internet]. 2005. Artykuł dostępny pod adresem: <https://www.who.int/peh-emf/publications/facts/fs296/en/>.
- [2] Kato Y, Johansson O. Reported functional impairments of electrohypersensitive Japanese: A questionnaire survey. *Pathophysiol Off J Int Soc Pathophysiol*. Netherlands; 2012;19:95–100.
- [3] van Dongen D, Smid T, Timmermans DRM. Symptom attribution and risk perception in individuals with idiopathic environmental intolerance to electromagnetic fields and in the general population. *Perspect Public Health* [Internet]. 2013/08/02. United States; 2014;134:160–8.

- [4] Rööfli M, Mohler E, Frei P. Sense and sensibility in the context of radiofrequency electromagnetic field exposure. *Comptes Rendus Phys* [Internet]. 2010;11:576–84.
- [5] Schröttner J, Leitgeb N. Sensitivity to electricity--temporal changes in Austria. *BMC Public Health* [Internet]. BioMed Central; 2008;8:310.
- [6] Stenberg B, Bergdahl J, Edvardsson B, Eriksson N, Lindén G, Widman L. Medical and social prognosis for patients with perceived hypersensitivity to electricity and skin symptoms related to the use of visual display terminals. *Scand J Work Environ Health*. Finland; 2002;28:349–57.
- [7] Rubin GJ, Hahn G, Everitt BS, Cleare AJ, Wessely S. Are some people sensitive to mobile phone signals? Within participants double blind randomised provocation study. *BMJ*. 2006;332:886–91.



# MODELOWANIE PRACY AKUMULATORÓW ELEKTROCHEMICZNYCH W POJAZDACH ELEKTRYCZNYCH

Leszek KASPRZYK, Damian BURZYŃSKI

Politechnika Poznańska

## Wprowadzenie

W ostatnich latach zauważyć można dynamiczny wzrost mobilnych urządzeń, które do swojej pracy wymagają zasilania elektrycznego. Układy te (np. zegarki elektroniczne, smartfony, tablety, laptopy czy samochody elektryczne), niezależnie od swojego przeznaczenia i zapotrzebowania na moc elektryczną, zazwyczaj zasilane są z ogniw elektrochemicznych. W tym aspekcie szczególnie ważne wydają się być pojazdy elektryczne. Wyróżniają się one dużym zapotrzebowaniem na moc i energię, a także potrzebą szybkiego ponownego ładowania. Szczególnie w ich przypadku istotne jest zastosowanie magazynu energii o możliwie dużej gęstości energii i mocy. Z tego względu w pojazdach elektrycznych stosuje się różne typy ogniw litowo-jonowych (np. LTO, NMC, LFP), w tańszych rozwiązaniach znaleźć można ogniwa niklowo-wodorkowe (NiMH), a w pojazdach wolnobieżnych (np. pojazdach typu melex czy wózki widłowe) – chociaż już coraz rzadziej – także ogniwa kwasowo-ołowiowe (PbO<sub>2</sub>).

## Modelowanie pracy ogniw elektrochemicznych w pojazdach elektrycznych

Analiza pracy ogniw elektrochemicznych w pojazdach elektrycznych, niezależnie od ich rodzaju, jest szczególnie istotna zarówno ze względu na potrzebę kontrolowania dostępnej energii, jak i napięcia na zaciskach akumulatorów, rezystancji wewnętrznej oraz temperatury. Analiza taka jest niezbędna zarówno ze względu na potrzebę przewidywania zasięgu pojazdów (dostępnej energii), ich zdolności do przyspieszania i hamowania odzyskowego (mocy rozładowania i ładowania), ale także z uwagi na różnego rodzaju zagrożenia związane z nadmierną degradacją ogniw oraz możliwością pożaru [2,5].

Modelowanie podzielić można na trzy podstawowe grupy. Pierwszą z nich jest modelowanie elektrochemiczne, które polega na opisie procesów fizykochemicznych zachodzących wewnątrz ogniw z wykorzystaniem równań Nernsta (wyrażającego równowagowy potencjał elektrody), pierwszego i drugiego prawa Ficka (dotyczącego przepływu masy i dyfuzji), Butlera-Volmera (dotyczącego kinetyki elektrochemicznej), a także prawa zachowania ładunku. Uzyskuje się w ten sposób zbiór równań przedstawiających procesy zachodzące w elektrolicie (procesy transportu jonów do i od elektrody) oraz w elektrodach i na granicy faz – procesy elektrodowe (solwatacja i desolwatacja, adsorpcja i desorpcja reagentów z i na powierzchnię elektrod oraz procesy przeniesienia ładunku od reagentów z i do elektrod) [1,5]. Modele takie dają dobre rezultaty (zwłaszcza te trójwymiarowe), jednak wymagają bardzo złożonych procedur parametryzowania, których niepoprawne przygotowanie skutkuje uzyskaniem dużych błędów obliczeniowych. Z tego powodu rzadko stosuje się je podczas analiz związanych z pojazdami elektrycznymi.

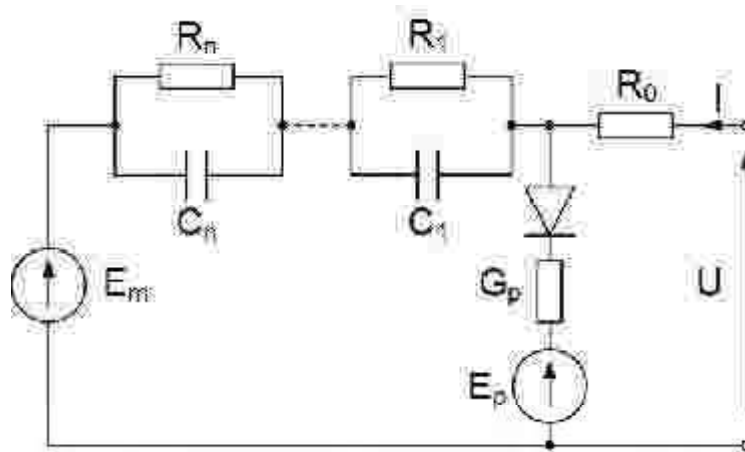
W tym obszarze znacznie częściej stosuje się modele matematyczne i obwodowe (z wykorzystaniem schematów zastępczych). W modelach matematycznych opisane powyżej procesy fizyczne i elektrochemiczne przedstawia się w postaci wzorów aproksymujących wybrane wielkości i sygnały elektryczne w funkcji kilku wybranych parametrów, od których są uzależnione, ograniczając ich liczbę do kilku najważniejszych. Przykład takich zależności znaleźć można w wielu narzędziach służących do modelowania ogniw elektrochemicznych np. w środowisku Matlab napięcie ogniwa litowo-jonowego wyznacza się z empirycznych wzorów (zależnych od półcykli pracy – ładowania i rozładowania) [3,7]:

$$\text{dla } i > 0: u(it, i) = E_0 - K \frac{Q}{Q - it} i - K \frac{Q}{Q - it} it + A \exp(-B \cdot it) \quad (1)$$

$$\text{dla } i < 0: u(it, i) = E_0 - K \frac{Q}{0.1Q + it} i - K \frac{Q}{Q - it} it + A \exp(-B \cdot it) \quad (2)$$

gdzie:  $E_0$  – stała napięciowa [V],  $K$  – stała rezystancyjna [ $\Omega$ ],  $i$  – prąd rozładowania [A],  $it$  – ładunek pobrany [Ah],  $Q$  – pojemność ogniwa [Ah],  $A$  – stała napięciowa wykładnicza [V],  $B$  – stała pojemnościowa wykładnicza [ $\text{Ah}^{-1}$ ].

Najczęściej jednak w analizach dotyczących układów elektrycznych stosuje się modelowanie obwodowe, czyli modele wykorzystujące schematy ekwiwalentne składające się ze standardowych elementów elektrycznych (najczęściej tylko RC), które odzwierciedlają zachowanie się ogniwa elektrochemicznego, w szczególności napięcia na ich zaciskach. Przykładowym schematem zastępczym stosowanym w obszarze elektromobilności jest układ na rysunku 1 [3,4,5,6].



Rys. 1. Schemat zastępczy ogniwa elektrochemicznego  $n$ -tego rzędu [5].

W układach takich stosuje się elementy o charakterze silnie nieliniowym, co ma na celu możliwie jak najdokładniejsze odwzorowanie sygnałów elektrycznych na zaciskach ogniwa lub całego akumulatora. Modele takie umożliwiają także analizę strat mocy, co w konsekwencji – po uwzględnieniu parametrów termicznych – pozwala na wyznaczenie temperatury akumulatora oraz jej wpływu na pracę i zużycie akumulatora [2].

## Literatura

- [1] Bard A. J., Faulkner L. R., Electrochemical methods: fundamentals and applications, John Wiley & Sons, New York, 2001.
- [2] Burzyński D., Pietracho R., Kasprzyk L., Tomczewski A., Analysis and Modeling of the Wear-Out Process of a Lithium-Nickel-Manganese-Cobalt Cell during Cycling Operation under Constant Load Conditions, Energies, vol. 12, no 20, pp. 3899, 2019
- [3] Jackey R., Saginaw M., Sanghvi P., Gazzari J., Huria T., Ceraolo M., Battery Model Parameter Estimation Using a Layered Technique: An Example Using a Lithium Iron Phosphate Cell. Conference Paper, SAE Technical Papers, April 2013
- [4] Kasprzyk L. Modelling and analysis of dynamic states of the lead-acid batteries in electric vehicles. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, vol. 19(2), pp. 229–236, 2017

- [5] Kasprzyk L., Wybrane zagadnienia modelowania ogniw elektrochemicznych i superkondensatorów w pojazdach elektrycznych, Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, vol.101, no. 5, 2019
- [6] Kasprzyk L., Wybrane zagadnienia modelowania trwałości akumulatorów litowo-jonowych w pojazdach elektrycznych, Przegląd Elektrotechniczny, vol.95, no 3, pp. 70-73, 2019
- [7] <https://www.mathworks.com/help/physmod/sps/powersys/ref/battery.html> (01.06.2020)

# POLE ELEKTROMAGNETYCZNE WYTWARZANE PRZEZ RADIOTELEFONY DORĘCZNE – POTENCJALNE SKUTKI ZDROWOTNE

Jarosław KIELISZEK<sup>1</sup>, Joanna WYSZKOWSKA<sup>2</sup>, Jaromir SOBIECH<sup>1</sup>, Robert PUTA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wojskowy Instytut Higieny i Epidemiologii, Warszawa

<sup>2</sup> Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

Pole elektromagnetyczne (pole-EM) jest czynnikiem środowiska pracy, który powoduje indukowanie wewnątrz organizmu pola elektrycznego i magnetycznego, a tym samym przepływ prądu elektrycznego wewnątrz ciała. Prąd elektryczny w ciele osoby narażonej na pole-EM, jest skutkiem bezpośredniego oddziaływania zewnętrznego pola-EM na człowieka (prąd indukowany), ale również oddziaływania pośredniego, gdy dochodzi do kontaktu ciała ze źródłem pola-EM lub innym obiektem przewodzącym znajdującym się w polu-EM (prąd kontaktowy).

Natężenie prądu kończynowego jest uzależnione od wielu czynników, Do najistotniejszych należą natężenie pola-EM na zewnątrz ciała człowieka, częstotliwość, modulacja pola, rozmiary i kompozycja ciała osoby narażonej, pozycja ciała w czasie narażenia, a nawet rodzaj podłoża, na którym się ona znajduje. Istotne jest również, czy doszło do kontaktu ciała ze źródłem pola-EM lub innym obiektem przewodzącym. Przepływ prądu przez ciało człowieka może wywołać odczucie bólu, zakłócać naturalne procesy elektrofizjologiczne w komórkach nerwowych lub mięśniowych, a nawet prowadzić do ich termicznych uszkodzeń. Ze względu na przewężenie przekroju poprzecznego ciała człowieka, prądy o maksymalnej gęstości przepływają w stawach skokowych, kolanach, nadgarstkach i szyi. Są to miejsca najbardziej narażone, gdzie najwcześniej występują skutki przepływu prądu, np. zmiany spowodowane rezystancyjnym przegraniem tkanek. [1 - 3].

Wartości progowe dla różnych skutków przepływu prądu wznoszą się z częstotliwością pola-EM. Odczuwanie prądu przy dotknięciu występuje przy natężeniu 0,2 - 0,4 mA dla częstotliwości 50 Hz a 25 - 40 mA dla 1 MHz [4].

Celem prezentowanej pracy była analiza narażenia na pole-EM powodowanego przez radiotelefony doreczne oraz ocena wpływu pośrednich skutków oddziaływania pola-EM, w postaci prądów kończynowych kontaktowych na funkcjonowanie układu nerwowego i mięśniowego.

W ramach projektu przeprowadzono pomiary rozkładów pola elektrycznego i pola magnetycznego w otoczeniu radiotelefonów oraz pomiary prądu kończynowego kontaktowego u operatorów. Do oceny narażenia na pole-EM wykorzystano wymagania prawa pracy określone w rozporządzeniu 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 [5], zaś wyniki pomiarów prądów kończynowych odniesiono do wartości ustanowionych w rozporządzeniu Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole-EM [6].

Wyniki pomiarów wskazują na dużą zmienność przestrzenną natężenia pola elektrycznego i magnetycznego wokół urządzeń. Istotne jest, że część ciała operatora radiotelefonu znajduje się w strefie zagrożenia lub niebezpiecznej w czasie pracy urządzenia w trybie nadawania. Dotyczy to w szczególności obszaru głowy oraz ręki trzymającej radiotelefon. W takiej sytuacji należy oczekiwać wystąpienia niepożądanych efektów biologicznych, powodowanych nadmiernym lub niebezpiecznym narażeniem na

pole-EM. Do takiego przypuszczenia skłaniają też pomiary prądów kończynowych. O ile nie stwierdzono przekroczeń dopuszczalnych wartości w kończynach dolnych (poniżej 10 mA), o tyle niepokojące wyniki uzyskano przy pomiarach prądu kontaktowego w ręce trzymającej radiotelefon. Znaczna część pomiarów wskazała na przekroczenia dopuszczalnych wartości (40 mA), a w wielu przypadkach zmierzono ponad 120 mA w kończynie górnej.

Mając na uwadze wyniki pomiarów pola-EM oraz prądów kończynowych, do oceny narażenia zastosowano metodę określenia wartości swoistego tempa pochłaniania energii - SAR. Parametr ten ma służyć ochronie pracowników przed niekorzystnymi skutkami termicznymi oddziaływania pola-EM. W prawodawstwie polskim oraz unijnym ustanowiono odpowiednie limity, wskazując na trzelementową ocenę SAR. Ocenie podlegają SAR uśredniony za całą masę ciała w czasie dowolnych 6 minut, SAR uśredniany w dowolnych 10 g zwartej tkanki w głowie i tułowiu oraz oddzielnie w kończynach w analogicznym czasie [6, 7].

Na potrzeby projektu zamodelowano radiotelefon doręczny pracujący w paśmie 42-50 MHz wykorzystując środowisko numeryczne CST studio. W środowisku tym w przestrzeni obliczeniowej odwzorowuje się urządzenie wytwarzające pole elektromagnetyczne oraz ciało człowieka w czasie narażenia. Przypisuje się im właściwości materiałowe, takie jak przenikalność elektryczna, przewodność, ciężar właściwy, a następnie równaniami matematycznymi opisuje działanie tego wirtualnego świata. Radiotelefon umieszczono w ręku modelu ciała człowieka, zaś poszczególne części modelu ciała ułożono tak, by odpowiadały warunkom rozmowy przez radiotelefon. Wartości obliczonego SAR prowadzono dla zasilania anteny mocą 5 W przy prawie pełnym dopasowaniu (WFS<1,0007). W tym wypadku obliczenia nie wskazują na przekroczenia dopuszczalnych wartości SAR.

W celu oceny funkcjonowania układu nerwowo-mięśniowego wykorzystano proste i nieinwazyjne testy fizjologiczne pozwalające na określenie zmian na poziomie zdolności siłowych mięśni, transmisji nerwowo-mięśniowej oraz zaburzeń przewodnictwa we włóknach czuciowych i ruchowych nerwów obwodowych. W pracy zostaną przedstawione wstępne wyniki przeprowadzonych pomiarów.

#### Literatura:

- [1] P. Bieńkowski, J. Karpowicz, and J. Kieliszek, "Przegląd miar skutków narażenia na zmienne w czasie pole elektromagnetyczne i właściwości metrologicznych mierników, istotnych podczas oceny narażenia w środowisku pracy," *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, vol. Nr 4 (90), 2016, doi: 10.5604/1231868X.1215436.
- [2] K. Gryz, J. Karpowicz, "Zasady oceny zagrożeń elektromagnetycznych związanych z występowaniem prądów indukowanych i kontaktowych," *Podstawy i Metody Oceny Środowiska Pracy*, vol. Nr 4 (58), 2008, Accessed: Jun. 11, 2018. [Online]. Available: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0786f70a-ab0a-48e3-9c4e-bd27c1e79b02>.
- [3] P. Zradziński, J. Karpowicz, K. Gryz, W. Leszko, "Anthropometric differentiation of effects of radiofrequency electromagnetic fields of frequency 100 MHz on workers," *Med Pr*, vol. 65, no. 3, pp. 351–360, Oct. 2014, doi: 10.13075/mp.5893.2014.044.
- [4] ICNIRP (1998) Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics* 74, 4 (April), 494–522.
- [5] 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
- [6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na zagrożenia spowodowane czynnikami fizycznymi
- [7] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 29 czerwca 2016 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na pole elektromagnetyczne

# ANALIZA PRZESTRZENNA PRZEWODNOŚCI ELEKTRYCZNEJ PODGLEBIA W RÓŻNYCH TECHNOLOGIACH PRODUKCJI

Paweł KIEŁBASA<sup>1</sup>, Mirosław ZAGÓRDA<sup>1</sup>, Paweł FINDURA<sup>2,3</sup>, Maroš KORENKO<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

<sup>2</sup> Slovak University of Agriculture in Nitra

<sup>3</sup> University of South Bohemia in České Budějovice

## Wstęp

Zastosowane technologie uprawy przyczyniają się do zmiany w większym lub mniejszym stopniu właściwości fizycznych i chemicznych gleby w płytkich i głębokich jej warstwach. Przestrzenna zmienność właściwości gleby jest jedną z przesłanek do zastosowania zróżnicowania uprawy i wprowadzania technologii rolnictwa precyzyjnego [1,2]. Wykonanie standardowych analiz próbek gleby wymaga długiego czasu oczekiwania na wyniki, co często jest kłopotliwe przy ograniczeniach nakładanych przez przyjętą technologię uprawy danej rośliny. Dużym ułatwieniem w zbieraniu danych o glebie, a przede wszystkim szybkim rozwiązaniem, jest wykorzystanie własności elektrycznych gleby [3,4,5]. Jedną z podstawowych metod stosowanych do wyznaczenia przestrzennej zmienności w obrębie pola jest pomiar przewodności elektrycznej EC (ang. Electrical Conductivity) przy użyciu konduktometru przewodności elektromagnetycznej EM38 [1]. Przygotowanie map przestrzennej zmienności i ich analiza przestrzenna wymaga podczas wykonywania pomiarów wyznaczenia pozycji urządzenia na podstawie informacji z odbiornika GNSS.

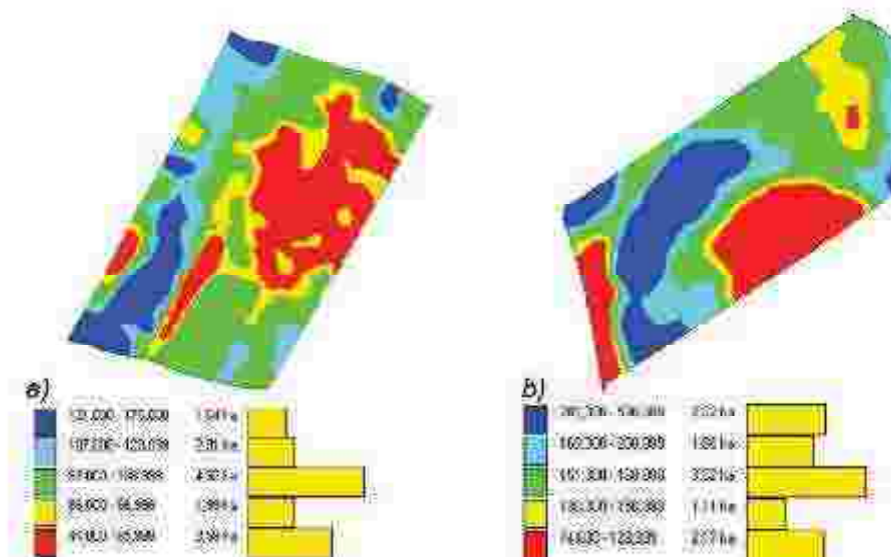
## Cel i zakres badań

Celem opracowania była analiza przestrzennej zmienności przewodności elektrycznej podglebia na polach, gdzie stosowano tradycyjną technologię uprawy i technologię rolnictwa precyzyjnego. Przeprowadzone badania polegały na skanowaniu gleby sondą EM38 (rys. 1) na 4 poligonach doświadczalnych, gdzie stosowane technologie produkcji w trzyletnim interwale czasowym były zróżnicowane a osiągnany efekt plonowy był zbliżony. Zapis przebiegu linii granicznej pola, nałożenie punktów pomiarowych i nawigacja do miejsc poboru próbek gleby były wykonane przy użyciu odbiornika GPS Trimble Nomad z oprogramowaniem Farm Works Mobile.

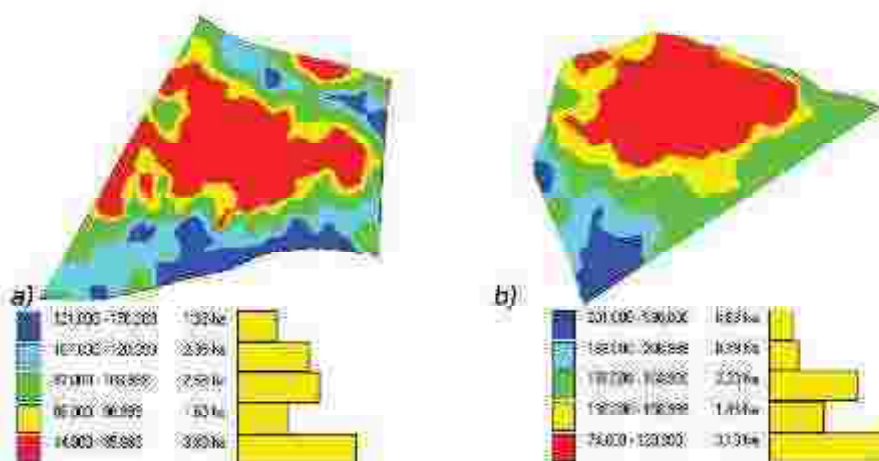


Rysunek 1. Pomiar przewodności elektromagnetycznej sondą EM38

W opracowaniu przedstawiono analizy statystyczne wyników również z uwzględnieniem statystyki przestrzennej wykonanej dla przygotowanych map rastrowych (rys. 2, 3). Przewodność elektryczną gleby zmierzono sondą EM38 realizując pomiar w przejazdach równoległych co 20 m. Dane były zarejestrowane przy użyciu sondy EM38 na wszystkich polach w odstępach co 20 m. Podczas badań zarejestrowano ponad 1700 punktów na polach z uprawą w technologii rolnictwa precyzyjnego (rys. 2) i ponad 1400 punktów na polach z uprawą w technologii tradycyjnej (rys.3). Rejestrowane we wszystkich pomiarach współrzędne geograficzne mierzonych punktów pozwalają na wykonanie map cyfrowych przestrzennej zmienności przewodności elektromagnetycznej gleby, które następnie są analizowane a wynik tej analizy ma zastosowanie praktyczne.



**Rysunek 2.** Poligony pomiarowe z uprawami prowadzonymi w technologii rolnictwa precyzyjnego



**Rysunek 3.** Poligony pomiarowe z uprawami prowadzonymi w technologii tradycyjnej

### Podsumowanie

Porównanie map przestrzennej zmienności przewodności elektrycznej podglebia wykazało istotne różnice, które są wynikiem działalności człowieka poprzez stosowanie adekwatnej technologii produkcji do możliwości finansowych danego gospodarstwa.

### Literatura

- [1] 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.
- [2] Adamchuk V.I. 2010. Precision Agriculture: Does it make sense? Better Crops 94, 3, 4-6.
- [3] Drózd Tomasz, Gąsiorowski Aleksander, Posyłek Zdzisław: Wykorzystanie fal elektromagnetycznych do określania wilgotności biosurowców nieżywnościowych metodą falowodową: monografia, 2016, Polskie Towarzystwo Inżynierii Rolniczej, ISBN 978-83-64377-17-4, 134 s.
- [4] Bah A., Balasundram S.K., Husni M.H.A. 2012. Sensor technologies for precision soil nutrient management and monitoring. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 7, 1, 43-49.
- [5] Kielbasa Paweł, Drózd Tomasz, Zagórda Mirosław [i in.]: Wykorzystanie tensometrii oporowej do przestrzennej identyfikacji zróżnicowania wybranych właściwości gruntu, w: Przegląd Elektrotechniczny, vol. 95, nr 1, 2019, ss. 53-56, DOI:10.15199/48.2019.01.14



# OCENA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA GEORADARU DO OKREŚLENIA SIŁY OPORU ROBOCZEGO NARZĘDZI DO REKULTYWACJI PODGLEBIA

Paweł KIEŁBASA<sup>1</sup>, Mirosław ZAGÓRDA<sup>1</sup>, Tadeusz Juliszewski<sup>1</sup>,  
Akinniyi AKINSUNMADE<sup>2</sup>, Sylwia TOMECKA<sup>3</sup>, Paweł PYSZ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

<sup>2</sup> Nigerian Geological Survey Agency, Abuja, Nigeria

<sup>3</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

## Wstęp

Trafna identyfikacja anomalii zagęszczenia gleby w profilu glebowym w warunkach produkcyjnych jest elementem koniecznym i mogącym odgrywać kluczową rolę we współczesnych systemach produkcyjnych [1]. Obecnie wyodrębnienie obszarów wymagających szczególnej uwagi na powierzchni pola jest bardzo złożone i wymaga zaawansowanych środków technicznych, które potrafią realizować swoje funkcje w czasie rzeczywistym. Metoda georadarowa jest jedną z najbardziej zaawansowanych metod z grupy pomiarów geofizycznych, która znalazła zastosowanie w wielu dziedzinach, m.in. w rolnictwie. W trakcie pomiaru wykonuje się serie równoległych profilowań, co pozwala na interpolowanie wyników pomiędzy kolejnymi profilami, a sam wynik jest przedstawiany w postaci przejrzystych map na dowolnym poziomie głębokościowym [2,3].

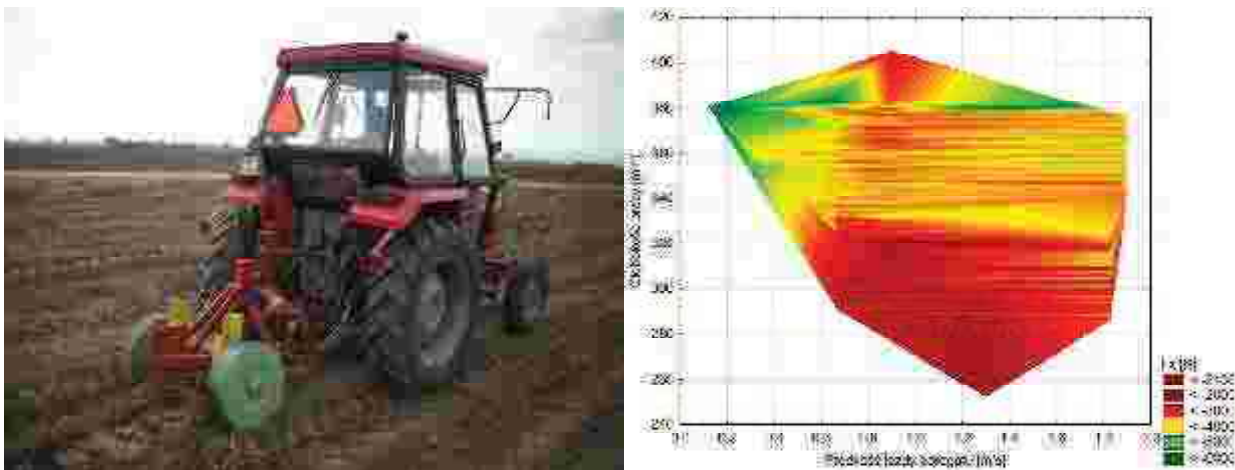
## Cel zakres i metodyka badań

Badania dotyczyły skanowania georadarowego gruntu o zróżnicowanej charakterystyce ugniecenia jego profilu w płaszczyźnie pionowej i poziomej. Wygenerowany echogram poddano analizie pozwalającej zidentyfikować zróżnicowanie ugniecenia w przestrzeni profilu gruntu o głębokości 1m. Dodatkowo wykonano badania penetrometryczne w punktach o stwierdzonej metodą georadarową anomalii struktury podglebia. Mając dokładną strukturę ilościowo-jakościową podglebia wykonano przejazd narzędziem rekultywującym przedmiotową strukturę zagęszczenia gleby. Tor jazdy narzędzia usytuowano w sposób umożliwiający pomiar wartości siły jego oporu w czasie przemieszczania przez zidentyfikowane i oznaczone wcześniej anomalie w profilu gleby. Wykorzystanie systemu GPS w układzie doświadczenia pozwoliło usytuować dany punkt pomiarowy w konkretnym miejscu poligonu doświadczalnego, pozwalając na wizualizację przestrzenną otrzymanych charakterystyk. W badaniach georadarowych wykorzystano metodę profilowania refleksyjnego polegającego na tym, że obie anteny przesuwają się równocześnie wzdłuż ścieżek pomiarowych i prostopadle do analizowanego profilu glebowego, co pozwoliło spolaryzować pole elektryczne równoległe do dłuższej osi anten. Badania przeprowadzono przy użyciu anteny ekranowanej o częstotliwości 800 MHz (rys. 1) pozwalającej na uzyskanie fali o długości 0,12 m i rozdzielczości 0,03 m. Założono, że odcinki rozbiegowe dla pomiaru georadarowego będą stanowić 10% długości odcinka pomiarowego.



**Rys. 1.** Pomiar geodarem stopnia ugniecenia gruntu oraz przykładowa charakterystyka amplitudy sygnału

Badania penetrometryczne przeprowadzono penetrometrem stożkowym model Penetrologger Eijkelkamp z sondą ThetaProbe zaprojektowany do pomiaru zwięzłości i wilgotności gleby na gruntach uprawnych wg. normy ASAE (obecnie ASABE) i wyposażonym w wewnętrzny odbiornik GPS. Głębokość sondowania wynosiła 0,8 m przy rejestracji wartości mierzonej zwięzłości profilu glebowego w odstępach co 0,01 m. Pomiary przeprowadzono wykorzystując stożek o średnicy nominalnej 11,28 mm i kącie rozwarcia 30°. Pomiary zwięzłości dokonywano ze średnią prędkością wciskania stożka penetrometru wynoszącą  $5 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ , którą mierzono czujnikiem ultradźwiękowym współpracującym z płytką referencyjną. Pomiar oporu roboczego narzędzia rekultywacyjnego wykonano ramą tensometryczną wyposażoną w sześć czujników tensometrycznych pracujących w układzie pełnego mostka [4,5]. Układ czujników pozwala zmierzyć siły występujące w każdym z cięgieł trzypunktowego układu zawieszenia narzędzia. Prędkość rzeczywista mierzono czujnikiem optycznym CORREVIT L-400 umieszczonym w osi symetrii koła napędowego ciągnika. Prędkość teoretyczną mierzono czujnikami magnetycznymi zamocowanymi na obręczach kół napędowych ciągnika. Do pomiaru głębokości penetracji gruntu posłużono się czujnikiem optycznym H-CE zamocowanym na ramie nośnej narzędzia (rys. 2).



**Rys. 2.** Widok sytemu pomiarowego w czasie badań oraz przykładowa charakterystyka siły w łączniku górnym TUZ będąca składową oporu roboczego w relacji z głębokością pracy i prędkością jazdy

Wyznaczano również pozycję (współrzędne) agregatu ciągnikowy stosując odbiornik GPS z wbudowanym mikrokomputerem umieszczony na dachu ciągnika. Wszystkie układy pomiarowe połączone z komputerem przenośnym klasy CF-29 poprzez stację pomiarową Daq Book/200A. Zastosowany system pozwalał pracować w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 10 Hz. Określono relację między wartościami charakterystyki profilu poprzecznego gruntu a wielkością siły oporu roboczego

narzędzia, co daje możliwości automatycznego sterowania głębokością pracy narzędzia oraz oceny energochłonności zabiegu.

## Literatura

- [1] Akinniyi Akinsunmade, Sylwia Tomecka-Suchoń, Paweł Pysz, Jerzy Karczewski, Tadeusz Juliszewski, Mirosław Zagórda, Paweł Kielbasa. 2020. Wykorzystanie metody konduktometrycznej i georadarowej do identyfikacji stopnia ugniecenia wierzchniej warstwy gruntu. *Przegląd elektrotechniczny*. ISSN 0033-2097, R. 96 NR 2/2020. S. 137-141.
- [2] Tadeusz Juliszewski, Paweł Kielbasa, Mirosław Zagórda, Sylwia Tomecka, Jerzy Karczewski, Akinniyi Akinsunmade. 2019. Porównanie wyników badania zagęszczenia gleby uprawnej metodą penetrometryczną i georadarową. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 95 NR 1/2019, s. 12-16.
- [3] Akinniyi Akinsunmade, Sylwia Tomecka-Suchon, Paweł Pysz, Jerzy Karczewski, Tadeusz Juliszewski, Mirosław Zagorda, Paweł Kielbasa. 2019. Assessment of mental load of an employee who operate a computer program supporting the didactic process. *Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine*, PTZE 2019 8781724, pp. 9-12, ISBN: 978-838813100-4.
- [4] Paweł Kielbasa, Tomasz Drózdź, Mirosław Zagórda, Sławomir Kurpaska, Zdzisław Posyłek. 2019. Wykorzystanie tensometrii oporowej do przestrzennej identyfikacji zróżnicowania wybranych właściwości gruntu. *Przegląd Elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 95 NR 1/2019, s. 53-56.
- [5] Kielbasa P. 2011. Zintegrowana metoda oceny nakładów energetycznych na uprawę podstawową w aspekcie mozaikowości gleby. *Inżynieria Rolnicza*. Nr 3(128).

# CAN THE ORGANISM ADAPT TO REPEATED EXPOSURE TO EXTREMELY LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD?

**Angelika KLIMEK, Hanna KLETKIEWICZ, Agnieszka SIEJKA, Justyna MALISZEWSKA, Joanna WYSZKOWSKA, Milena JANKOWSKA, Anna NOWAKOWSKA, Maria STANKIEWICZ, Justyna ROGALSKA**

Nicolaus Copernicus University

Faculty of Biological and Veterinary Sciences

Department of Animal Physiology and Neurobiology, Toruń

## **Introduction**

The continuous development of technology allows today's society to benefit from many technical achievements and facilities. However, it is associated with increasing number of sources of extremely low- frequency electromagnetic field (ELF-EMF), including everyday use of electrical devices and high voltage lines. Therefore, it is important to estimate the potential impact of this type of electromagnetic field on the human body. There are many reports suggesting that ELF-EMF exposure alters stress hormone levels and has impact on development of anxiety and/or depression (1, 2, 3, 4, 5). On the other hand, ELF-EMF exposure is used in medicine as the therapeutic treatment. Some authors postulate the positive effect of ELF-EMF on regeneration and convalescence after ischemic stroke and spinal cord injury (6, 7), improvement of memory and cognitive functions in Alzheimer's disease model (8, 9), acceleration of osteogenesis (10) and other. The results of numerous studies are often contradictory, and the impact of ELF-EMF on human health has still not been clearly determined. Researchers note that the ELF-EMF effect might depend on several variables such as: frequency, flux density, time of exposure and distance from field source. It means that ELF-EMF might exhibit hormesis effect and act differently depending on the intensity of the stimulus. However, the ELF-EMF mechanism of influence is still not explained.

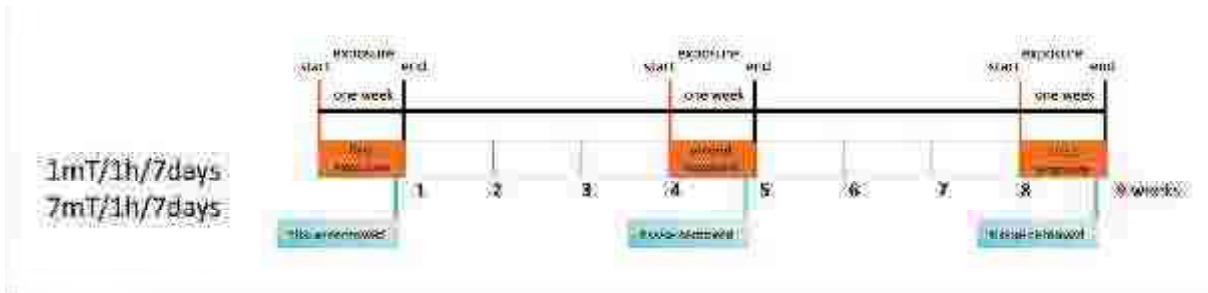
## **The aim of the study**

The project was aimed 1) at determining whether ELF-MF exhibits hormesis, it means bidirectional action depending on values of magnetic flux density and 2) at elucidating the mechanism of this phenomenon on rat model.

## **Materials and methods**

3-months old male Wistar rats were divided into 3 groups: 1) animals exposed to ELF-MF of 1 mT, 2) animals exposed to ELF-MF of 7 mT 3) control animals subjected to the same experimental procedure as the exposed groups, except ELF-MF exposure.

Animals were exposed to 50 Hz frequency ELF-MF of two different values of magnetic value (1 mT and 7 mT). The periods of exposure (each: 7-day exposure; 1h a day) were repeated 3 times every 3 weeks. The changes in neurotransmitters and hormone levels were determined in the following structures and tissues of stress systems (the hypothalamic–pituitary–adrenal (HPA) axis and sympatho-adrenomedullary (SAM) system): HPA axis - hypothalamus (CRH), pituitary gland (ACTH), adrenal glands and plasma (CORT); SAM system - hypothalamus, locus coeruleus, adrenal glands and plasma (NA and MHPG). All parameters were analysed after each period of exposure (3 times) to evaluate the direction and dynamics of changes in their levels. All parameters were determined by ELISA technique.



## Results

A single exposure to ELF-MF with a value of **1mT** resulted in a slight increase in HPA axis activity (CRH in hypothalamus; ACTH in the pituitary gland, CORT in adrenal glands and plasma) as well as SAM system activity (noradrenaline metabolism in hypothalamus, the locus coeruleus, adrenal glands and plasma). However, after each subsequent exposure the level of measured parameters was lower or not different from control level. It may indicate that ELF-MF of low intensity activates some endogenous adaptive processes.

ELF-MF of 7mT led to sustained stimulation of stress systems activity which was higher with each next exposure, indicating that the stronger field – 7mT is a factor, which can be recognised as harmful for organism.

## Conclusions

These results suggest that ELF-MF of 1mT is a factor which stimulates the adaptive mechanisms in the organism. Whereas 7mT is the value which can exceed the organisms' adaptation abilities. Consequently, ELF-MF depending on its strength can change the vulnerability of the organism to subsequent stress factors and may be important in development of the nervous system related disorders.

FINANCIAL SUPPORT: Research supported by grant from National Science Centre, Poland, no. 2017/25/B/NZ7/00638 and project no. POWR.03.05.00-00-Z302/17 Universitas Copernicana Thoruniensis In Futuro, a part of the programme Knowledge Education Development.

## Literature

1. Bagheri Hosseinabadi M. et al. The effect of chronic exposure to extremely low-frequency electromagnetic fields on sleep quality, stress, depression and anxiety. *Electromagnetic biology and medicine*. 2019; 38(1):96-101
2. Kitaoka K. et al. Chronic exposure to an extremely low-frequency magnetic field induces depression-like behavior and corticosterone secretion without enhancement of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis in mice. *Bioelectromagnetics*. 2013; 34(1):43-51.
3. de Kleijn S. et al. A short-term extremely low frequency electromagnetic field exposure increases circulating leukocyte numbers and affects HPA-axis signaling in mice. *Bioelectromagnetics*. 2016;37(7):433–443
4. Mahdavi SM. et al. Effects of electromagnetic radiation exposure on stress-related behaviors and stress hormones in male Wistar rats. *Biomolecules & therapeutics (Seoul)*. 2014;22(6):570–576
5. Szemerszky R. et al. Stress-related endocrinological and psychopathological effects of short- and long-term 50Hz electromagnetic field exposure in rats. *Brain research bulletin*. 2010; 81(1):92-99.
6. Cichoń N. et al. Extremely low frequency electromagnetic field reduces oxidative stress during the rehabilitation of post-acute stroke patients. *Advances in clinical and experimental medicine*. 2018; 27(9):1285-1293.
7. Ross ChL. et al. The regenerative effects of electromagnetic field on spinal cord injury. *Electromagnetic biology and medicine*. 2017; 36(1):74-87
8. Akbarnejad Z. et al. Spatial memory recovery in Alzheimer's rat model by electromagnetic field exposure. *The International Journal of Neuroscience*. 2018; 128(8):691-696
9. Zhang Y. et al. Short-term effects of extremely low frequency electromagnetic fields exposure on Alzheimer's disease in rats. *International journal of radiation biology*. 2015; 91(1):28-34
10. Lim KT. et al. Effects of Electromagnetic Fields on Osteogenesis of Human Alveolar Bone-Derived Mesenchymal Stem Cells. *BioMed Research International*. 2013; 1–14. doi:10.1155/2013/296019

# NEURAL HYBRID TOMOGRAPHY FOR MONITORING INDUSTRIAL REACTORS

Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>2,3</sup>, Paweł TCHÓRZEWSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lublin University of Technology

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation in Lublin

<sup>3</sup> Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

## Abstract

The article concerns research on the hybrid tomographic method, which simultaneously takes into account two types of tomography – ultrasonic tomography (UST) and electrical impedance tomography (EIT). An algorithm based on artificial neural networks (ANN) has been developed, the characteristic feature of which is the training of many regression neural networks. Each ANN output generates one of 4096 pixels of the reconstructed image. The inputs of neural networks are UST and EIT measurement vectors. Three variants of ANNs were trained: UST, EIT and a hybrid variant including UST and EIT measurements. Then the reconstruction results were compared. Surprisingly, the results of the performed experiments prove that the hybrid approach, i.e. the simultaneous use of UST and EIT measurements, does not always give better results than the use of a separate UST or EIT method. In the considered cases, when due to the nature of the examined object there are large differences in the quality of reconstruction between UST and EIT, the hybrid system tends to average the image. As a result, reconstructions from the hybrid system are better than separate EIT but worse than separate UST.

## Methods

In order to train 3 variants of neural systems (UST, EIT and UST+EIT) measurements were performed using a hybrid tomograph [1]–[6]. Ultrasonic and electrical data were collected regarding identical allocation of inclusions within the tank reactor [7]. UST measurements were made using 16 transducers. The UST measurement vector had 120 values. EIT measurements were made using 16 sensors, thanks to which each measurement vector counted 96 measurements. Scripts for generating simulation cases were developed on the basis of real measurements. The training set, for both UST and EIT, had 35000 cases. ANN structure for UST is (120-100-1)×4096. ANN structure for EIT is (96-100-1)×4096. ANN structure for UST+EIT is (216-200-1)×4096. Fig. 1 shows a hybrid system model.

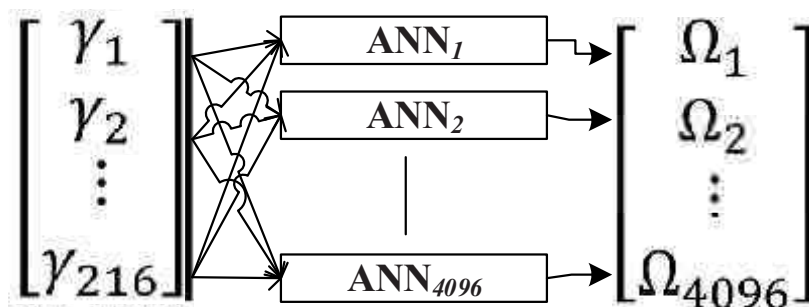


Fig. 1. Model of the UST+EIT hybrid system converting 216 measurements into 64×64 2D image

Each of the 3 variants of the ANN models was trained on a training set, constituting 70% of all measurement cases. 15% of all cases was a test set and 15% a validation set. Fig. 2 shows the results of the reconstruction in a system enabling their comparison.

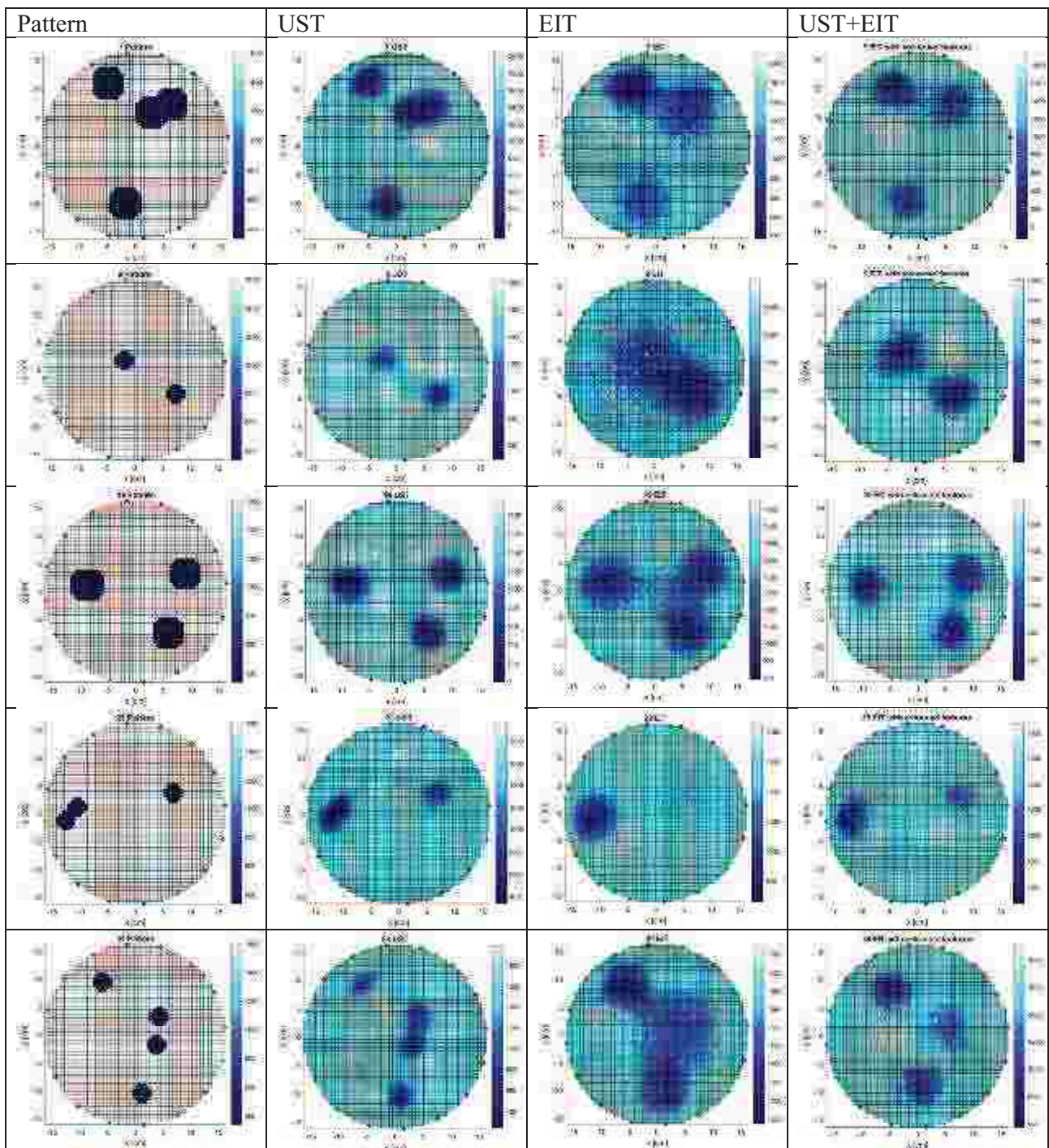


Fig. 2. Comparison of reconstruction images for 3 variants: UST, EIT and UST+EIT (hybrid)

## References

- [1] A. Goetzke-Pala, A. Hoła, and Ł. Sadowski, “A non-destructive method of the evaluation of the moisture in saline brick walls using artificial neural networks,” *Arch. Civ. Mech. Eng.*, vol. 18, no. 4, pp. 1729–1742, Sep. 2018.
- [2] T. Rymarczyk, “Using electrical impedance tomography to monitoring flood banks,” in *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 2014, vol. 45, no. 1–4, pp. 489–494.

- [3] T. Rymarczyk, G. Klosowski, T. Cieplak, E. Kozłowski, and K. Kania, “Application of a regressive neural network with autoencoder for monochromatic images in ultrasound tomography,” 2019, pp. 156–160.
- [4] M. Ziolkowski, S. Gratkowski, and A. R. Zywica, “Analytical and numerical models of the magnetoacoustic tomography with magnetic induction,” *COMPEL - Int. J. Comput. Math. Electr. Electron. Eng.*, vol. 37, no. 2, pp. 538–548, Mar. 2018.
- [5] M. T. M. Khairi *et al.*, “Ultrasound computed tomography for material inspection: Principles, design and applications,” *Measurement*, vol. 146, pp. 490–523, Nov. 2019.
- [6] H. Chen *et al.*, “Standard Plane Localization in Fetal Ultrasound via Domain Transferred Deep Neural Networks,” *IEEE J. Biomed. Heal. Informatics*, vol. 19, no. 5, pp. 1627–1636, 2015.
- [7] G. Kłosowski, T. Rymarczyk, K. Kania, A. Świć, and T. Cieplak, “Maintenance of industrial reactors supported by deep learning driven ultrasound tomography,” *Eksploat. i Niezawodn. - Maint. Reliab.*, vol. 22, no. 1, pp. 138–147, Dec. 2020.



# EFFECT OF FEATURES EXTRACTION ON IMPROVING LSTM NETWORK QUALITY IN ECG SIGNAL CLASSIFICATION

Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>2,3</sup>, Dariusz WÓJCIK<sup>3</sup>,  
Tomasz CIEPLAK<sup>1</sup>, Michał WOŚ<sup>3</sup>, Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Lublin University of Technology

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation in Lublin

<sup>3</sup> Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

## Abstract

This article focuses on the extraction of features extracted from ECG measurement signals to improve the quality of LSTM network operation. Two features were distinguished from each individual sequence of ECG signals: instantaneous frequency (IF) and spectral entropy (SE). Both of these features are extracted from ECG signals using short-time Fourier transform. The applied approach enables the conversion of original measurement sequences into spectral images, from which IF and SE coefficients are then generated. As a result of the research, it was found that feature extraction significantly improves ECG signal classification both in terms of forecasting accuracy and in terms of network learning speed.

## Introduction

Over the past 20 years there has been a clear increase in the requirements for disease diagnostics software [1]. In addition to such features as reliability, efficiency or speed of operation, its automation has become an important determinant of the quality of medical software [2]. Automation is necessary for the development of technologies such as Internet of Things (IoT) [3], Body Sensor Network (BSN) [4] or Wearable Textronic Devices (WTD) [5]. IoT not only enables mutual machine-machine communication, but also has the ability to make autonomous decisions by devices. BSN systems operate on the basis of IoT. In turn, WDTs are necessary for the continuous and independent of visits to the doctor's office to collect data directly from the patient's body. As you can see, all these systems interpenetrate each other, creating a holistic environment whose key element is sensors and medical diagnostic software.

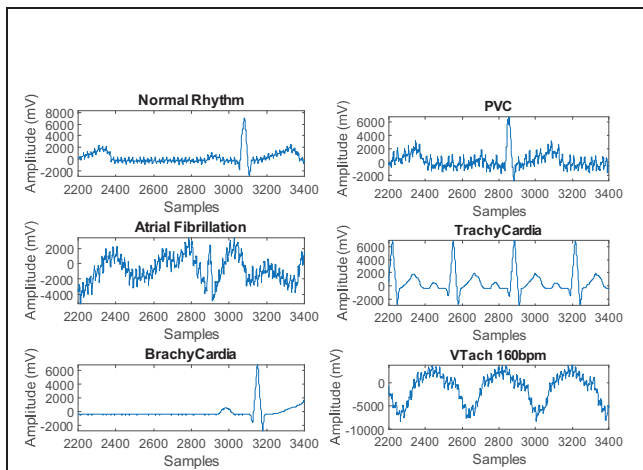
ECG signal classification algorithms are an extremely important part of such software [6,1]. Since cardiovascular disease is one of the leading causes of death in both the US and the world, effective diagnosis of heart disease is a must. It was noticed many years ago that time series or ECG measurement sequences can be classified using statistical or iterative methods [7]. However, the quality of these classifications was not sufficient to eliminate a doctor from the ECG signal interpretation process or, in other words, the diagnosis of the disease [5]. Without the need to involve a doctor, there can be no question of a real automation of the diagnostic process. To enable this, it is necessary to create a reliable cyberphysical system, equipped with sensors and an algorithm, generating repeatable results with 100% accuracy [8].

This article carried out research aimed at obtaining high-quality results of ECG signal classification using the LSTM network. It was assumed that the barrier preventing the training of high accuracy LSTM networks is data. Due to their noise and lack of full repeatability caused by various types of measurement disturbances and inaccuracy of the equipment used, the use of direct data makes it impossible to train the LSTM network with the desired accuracy of prediction. Therefore, the feature extraction method was used. Two features were distinguished from each single ECG signal sequence: instantaneous frequency (IF) and spectral entropy (SE). Spectrograms and short-time Fourier transform were used for this purpose. The LSTM network was trained both on the basis of direct measurements and on the basis of extracted IF and SE features. The obtained results clearly proved that in the examined cases the extraction of features

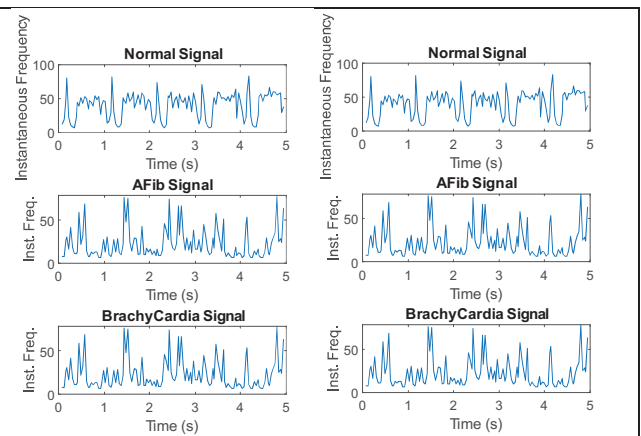
enabled achieving full, 100% accuracy of classification, while the accuracy of classification for direct data was about 20% worse (Figs. 3 and 4).

**Methods**

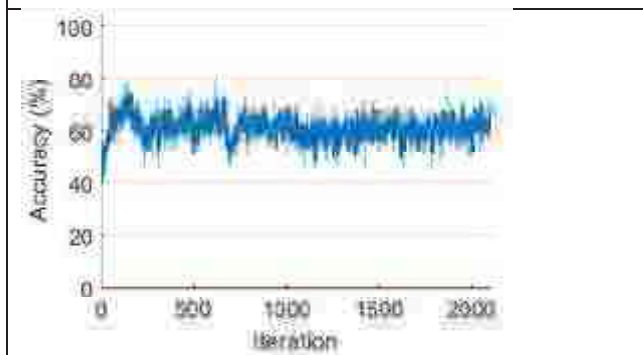
The research used the LSTM network consisting of 5 layers. The first layer contains single measurement sequences (first variant) or double sequences of the extracted features: IF and SE (second variant). The second layer in both variants contains 400 hidden neurons (activations). Layer three is a fully connected layer. It contains six neurons because there are so many classes identified by the LSTM network. The fourth layer is of the softmax type. Formula  $y_r(x) = e^{a_r(x)} / \sum_{j=1}^k e^{a_j(x)}$  shows the softmax activation function, where  $0 \leq y_r \leq 1$  and  $\sum_{j=1}^k y_j = 1$ . The last layer is the classification layer, which task is to calculate the cross entropy loss for classification problem with mutually exclusive classes. Fig. 1 shows 6 different classes of ECG signals, including 1 normal and 5 diseased. Fig. 2 shows the same signals but in the form of an extracted IF feature. Fig. 3 shows the LSTM network training graph for unprocessed inputs, while Fig. 4 shows the same graph but for the inputs transformed into 2 features extracted - IF and SE. It is clearly seen that the LSTM network trains better in the second variant, when the inputs are coefficients calculated as based on a short-time Fourier transform.



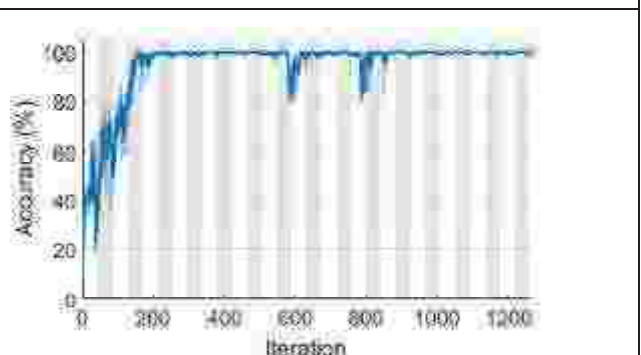
**Fig. 1.** ECG signals tested



**Fig. 2.** Visualization of instantaneous frequency (IF) of ECG signals



**Fig. 3.** Training accuracy for LSTM with a raw input



**Fig. 4.** Training accuracy for LSTM with IF and SE inputs

**References**

1. Attia ZI, Noseworthy PA, Lopez-Jimenez F, et al. An artificial intelligence-enabled ECG algorithm for the identification of patients with atrial fibrillation during sinus rhythm: a retrospective analysis of outcome prediction. *The Lancet* 2019; 394(10201): 861-867.
2. Chen Y, Yu L, Ota K, Dong M. Robust activity recognition for aging society. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* 2018; 22(6): 1754-1764.

3. Chen X, Tang S, Lu Z, et al. IDiSC: A New Approach to IoT-Data-Intensive Service Components Deployment in Edge-Cloud-Hybrid System. *IEEE Access* 2019; 7: 59172-59184.
4. Gravina R, Alinia P, Ghasemzadeh H, Fortino G. Multi-sensor fusion in body sensor networks: State-of-the-art and research challenges. *Information Fusion* 2017; 35: 1339-1351.
5. Qiu H, Qiu M, Lu Z. Selective encryption on ECG data in body sensor network based on supervised machine learning. *Information Fusion* 2020; 55: 59-67.
6. Arsene CTC, Hankins R, Yin H. Deep learning models for denoising ECG signals. In: *European Signal Processing Conference. Vol 2019-September. European Signal Processing Conference, EUSIPCO; 2019.*
7. Mostayed A, Luo J, Shu X, Wee W. Classification of 12-Lead ECG Signals with Bi-directional LSTM Network.
8. Saadatnejad S, Oveisi M, Hashemi M. LSTM-Based ECG Classification for Continuous Monitoring on Personal Wearable Devices. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* May 2019: 1-1.

# AUGMENTED ZERO-SEQUENCE VOLTAGE INJECTION IN SPWM FOR FIVE-PHASE, THREE LEVEL NEUTRAL-POINT-CLAMPED INVERTER

Dmytro KONDRATENKO<sup>1</sup>, Arkadiusz LEWICKI<sup>1</sup>, Charles ODEH<sup>2</sup>, Andrzej JĄDERKO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Gdańska, Gdańsk

<sup>2</sup>Uniwersytet Nigerii, Nsukka, Nigeria

<sup>3</sup>Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## Wstęp

Wielofazowe falowniki napięcia stają się coraz bardziej popularne w układach napędowych. Wielofazowe układy napędowe oferują szereg zalet w stosunku do odpowiadającego im trójfazowego układu napędowego: mniejsza amplituda i wyższa częstotliwość tętnienia momentu obrotowego, większa redundancja i lepsza odporność na uszkodzenia, większa elastyczność sterowania, możliwość niezależnego sterowania więcej niż jedną maszyną zasilaną z jednego falownika [1, 2].

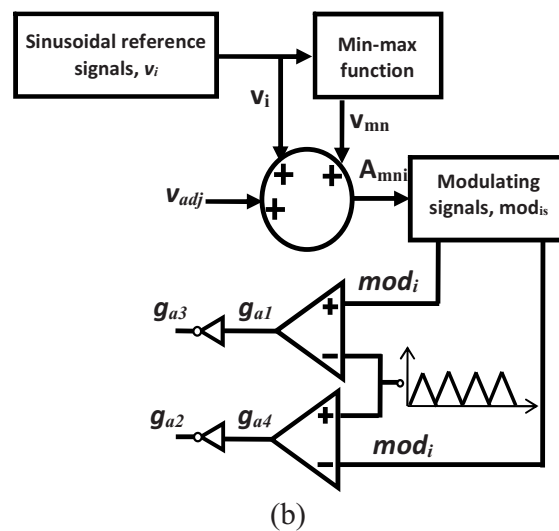
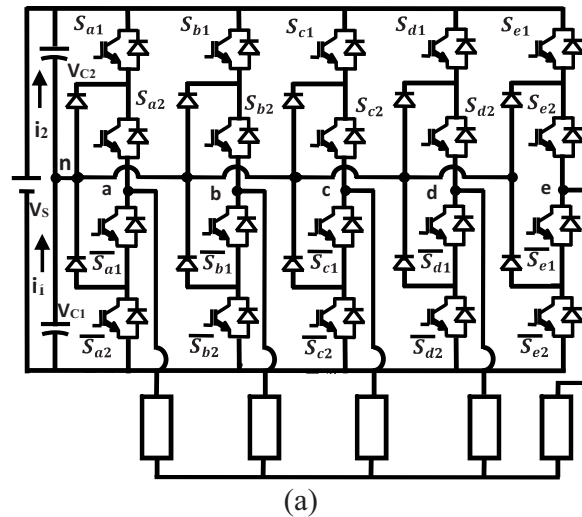
Przez ostatnie dwie dekady została dobrze udokumentowana w literaturze seria technik modulacji dla wielofazowego 3-poziomowego falownika NPC. Metody te można podzielić na dwie grupy: pierwsza z nich wykorzystuje teorię wektora przestrzennego Space Vector PWM (SVPWM), a druga opiera się na algorytmach modulacji sinusoidalnej (SPWM) [4 - 6]. Metody modulacji wektorowej wymagają wskazania wektorów aktywnych, dla których wyznaczone są czasy załączenia. Zadanie to nie jest łatwe, gdyż położenia i długości wektorów zmieniają się wraz ze zmianami rozkładu napięcia na kondensatorach falownika oraz, dodatkowo, wektory aktywne są formowane jednocześnie w kilku układach ortogonalnych powodując jednoczesne generowanie dodatkowych harmonicznych napięcia wyjściowego. Metody modulacji wektorowej dają jednakże możliwość pełnego wykorzystania napięcia dostępnego w obwodzie pośredniczącym falownika. Osiągnięcie podobnego efektu w algorytmach SPWM wymaga modyfikacji sygnału modulującego.

Zasada działania SPWM polega na generowaniu sygnałów bramkujących w poszczególnych fazach falownika poprzez porównanie sygnału modulującego i modulowanego. Taka koncepcja sterowania jest powtarzana dla każdej fazy falownika, a jedyną różnicą parametru sterującego jest przesunięcie kąta fazowego sygnału wejściowego do algorytmu (napięcia referencyjnego). W efekcie zarówno analiza jak i implementacja algorytmów SPWM nie stwarza żadnych trudności, zaś jego rozszerzenie na układy wielofazowe nie stanowi większego problemu.

W artykule zaprezentowano metodę modulacji SPWM dla pięciofazowego, 3-poziomowego falownika NPC. Zakres modulacji liniowej został zwiększony poprzez dodanie składowej zerowej napięcia do sinusoidalnych napięć referencyjnych za pomocą funkcji min-max. Opracowany uproszczony schemat balansowania napięć kondensatorów w obwodzie DC umożliwia natychmiastową generację sygnałów włączonych do już zsyntetyzowanej funkcji min-max. W artykule przedstawiono algorytm modulacji, metodę balansowania napięć kondensatorów obwodu DC oraz wyniki badań symulacyjnych i eksperymentalnych.

## Algorytm Sinusoidalnej Modulacji Szerokości Impulsów

Schemat pięciofazowego, 3-poziomowego falownika NPC oraz schemat blokowy wykorzystanego algorytmu modulacji zaprezentowano na rysunku 1.



**Rys. 1.** Pięciofazowy trójpoziomowy falownik z obwodem zasilania (a) oraz schemat blokowy proponowanego algorytmu SPWM (b)

W celu pełnego wykorzystania napięcia obwodu pośredniczącego do algorytmu modulacji sinusoidalnej wprowadzona została funkcja min-max. Blok min-max (Rys 1.b) wyznacza chwilowe wartości minimalne i maksymalne pięciu przebiegów napięć referencyjnych. Zmienna wyjściowa z bloku min-max  $v_{mn}$ , po zsumowaniu z sygnałem balansującym napięcia obwodu DC  $v_{adj}$  oraz sygnałami referencyjnych napięć fazowych  $v_i$  jest wykorzystana w bloku modulatora (Rys. 1b) do generowania dwóch sygnały dla każdej z faz falownika:  $mod_{ip}$  i  $mod_{in}$ . Sygnały te są porównywane z trójkątną nośną o wysokiej częstotliwości, tak aby wygenerować cztery sygnały sterujące tranzystorami w każdej z faz falownika. W rozwiązaniu zaimplementowano możliwość sterowania rozkładem napięcia na kondensatorach falownika. Balansowanie napięć obwodu DC opiera się na analizie przepływu prądu neutralnego  $i_n$ . Znak sygnału  $v_{adj}$  zmienia się w zależności od wartości prądu płynącego do punktu środkowego baterii kondensatorów. W artykule zaprezentowano właściwości pięciofazowego trójpoziomowego falownika z zaimplementowaną metodą sterowania. Pokazano możliwość niezależnego formowania dwóch napięć wyjściowych (o różnych częstotliwościach i amplitudach) z wykorzystaniem pojedynczego falownika napięcia. Zaproponowane rozwiązanie może zostać wykorzystane do niezależnego sterowania dwoma silnikami zasilanymi z tego samego przekształtnika. Przedstawiony algorytm modulacji umożliwi dodatkowo utrzymanie jednakowych napięć na kondensatorach obwodu DC.

## Literatura

- [1] E. Levi, "Advances in converter control and innovative exploitation of additional degrees of freedom for multiphase machines," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 1, pp. 433–448, Jan. 2016
- [2] M. J. Duran and F. Barrero, "Recent advances in the design, modeling and control of multiphase machines—Part 2," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 1, pp. 459–468, Jan. 2016
- [3] S. Kouro et al., "Recent advances and industrial applications of multilevel converters," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 8, pp. 2553–2580, Aug. 2010
- [4] E. A. R. Engku Ariff, O. Dordevic and M. Jones, "A space vector PWM technique for a three-level symmetrical six-phase drive," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 64, no. 11, pp. 8396-8405
- [5] O. Dordevic, E. Levi, and M. Jones, "A vector space decomposition based space vector PWM algorithm for a three-level seven-phase voltage source inverter," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 28, no. 2, pp. 637-649, Feb. 2013
- [6] Iraide Lopez, Salvador Ceballos, Josep Pou, Jordi Zaragoza, Member, Jon Andreu, Inigo Kortabarria, and Vassilios G. Agelidis, "Modulation Strategy for Multiphase Neutral-Point-Clamped Converters," *IEEE Transactions on Power electronic*, vol. 31, no. 2, pp. 928-941, February 2016

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości" w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

## POLA TORSYJNE – WYTWÓR WYOBRAŹNI?

Ewa KORZENIEWSKA<sup>1</sup>, Andrzej KRAWCZYK<sup>2</sup>, Jacek STAŃDO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

<sup>2</sup> Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji, Wydział Transportu i Informatyki, Lublin

<sup>3</sup> Politechnika Łódzka, Centrum Nauczania Fizyki i Matematyki

Gdyby przyszło nam przygotować prezentację na temat tego co nauka wie na temat pól torsyjnych oprócz pierwszego slajdu z tytułem zawierałaby jeden dodatkowy pusty slajd. Dlaczego? Odpowiedź jest prosta: brak jest jakichkolwiek dowodów na to, że pola torsyjne istnieją. Z tego względu niepokojące jest czytanie różnych, niepotwierdzonych żadnymi faktami, artykułów i doniesień. Autorzy opisujący to zjawisko nie są w stanie podać żadnych konkretnych informacji na temat pól torsyjnych. Nie potrafią tego pola w żaden sposób scharakteryzować. Wszystkie opisy oparte są na wierze w fakt istnienia właściwie nie wiadomo czego. Jako inżynierowie, fizycy, przywykliśmy do wielkości charakteryzujących dane zjawisko, ich jednostek i pewnych zależności między innymi. W przypadku pól torsyjnych daremnie takich szukać.

Dlaczego zatem zajęliśmy się takim tematem? Cel jest bardzo konkretny. Odpowiedzialność jaka spoczywa na nas jako naukowcach i nauczycielach akademickich skłania nas do szerzenia prawdziwych i potwierdzonych faktami informacji.

Pojęcie pola torsyjnego nabrało na znaczeniu obecnie, ze względu na duże niepokoje społeczne związane z ewolucją telefonii bezprzewodowej i wprowadzaniu technologii piątej generacji 5G. Jej przeciwnicy posługują się w wielu przypadkach właśnie takimi pojęciami w obszarze pseudonauki i altmedu jak pola torsyjne, wprowadzając w społeczeństwie dodatkowy zamęt i szerząc niepotrzebny niepokój.

Początek tej koncepcji ma miejsce w latach 80-tych XX w, kiedy to dwaj obywatele Związku Radzieckiego Giennadij Shipov i Anatoly Akimov rozpoczęli dyskusję na ten temat. Anatoly Akimov, członek Rosyjskiej Akademii Nauk Naturalnych oraz Giennadij Shipov, członek założyciel Rosyjskiego Związku Nauk Grawitacyjnych i dyrektor Centrum Naukowego Fizyki Plazmy w Moskwie – obie instytucje istnieją poza oficjalnym nurtem nauki rosyjskiej. Koncepcję pola torsyjnego jej autorzy wywodzą z teorii Einsteina–Cartana oraz niektórych rozwiązań równań Maxwella [1]. Według nich wszechświat składa się z siedmiu poziomów rzeczywistości – siedmiu „planów” [2,3]:

- I. Absolutne "Nic" - próżnia pierwotna (pramateria, czyli praźródło wszystkiego);
- II. Pierwotne pole wirowania (czyli pole torsyjne, pole świadomości)
- III. Próżnia fizyczna
- IV. Plazma (cząstki elementarne)
- V. Gaz
- VI. Ciecz
- VII. Ciało stałe

Już przy tych założeniach można mieć wiele wątpliwości. Poziom V-VII to obszerne zagadnienia dobrze znane fizykom i inżynierom. Wydawałoby się, że poziomy III oraz IV również, niestety nie mamy tu jako naukowcy zgodnych poglądów z Shipovem i Akimovem, a w konsekwencji z innymi luminarzami pseudonauki. Poziom III choć powszechnie znany w tym przypadku jest miejscem gromadzenia cząstek, a przede wszystkim energii. Według poglądów głoszonych przez Shipova, z 1 cm<sup>3</sup> próżni rozumianej na jego sposób, można wyprodukować taką ilość energii, która zaspokoi potrzeby ludzkości na 10 lat [4]. Zasoby energii pól torsyjnych mają być równe 10<sup>118</sup> J [5]. Mówiąc o tak ogromnej ilości energii zawartej w próżni fizycznej, używa prawdy pozornej czyli sofizmu. Świadomie wyciąga fałszywe wnioski

z prawdziwych założeń. Umiejętnie odwołuje się do pojęcia energii punktu zerowego znanego z mechaniki kwantowej: "Ogólnie próżnia jest neutralna. Nie posiada ładunku, masy ani innych parametrów. Średnio pod każdym względem jest zerem. Niemniej to zero posiada pewne właściwości mieszczące się w jego wnętrzu (wnętrzu tej próżni), które pozwalają mu rodzić z samego siebie wszelkie rodzaje materii" [1]. Według Shipova ta energia ma znane mu konkretne wartości, choć nie przedstawia wyników jej pomiarów. Uważa, że energia ta jest źródłem i dzięki niej może zachodzić reakcja cząstek elementarnych. Postuluje, iż dowodzi i zna "wzór na istnienie Boga" czyli występujące w planie pierwszym Absolutne "Nic". Jest to temat ontologiczny będący przyczynkiem do rozważań teologów i filozofów: próżnia pierwotna, absolutne "nic", „superrozum” czy też niebyt. Już w tym zapisie trudno znaleźć logikę gdy najpierw pojawia się Absolutne „Nic”, które jest jednocześnie wszechstworcą. Stoi to w sprzeczności z maksymą "Byt jest, Niebytu nie ma" stanowiącą podstawy ontologii. Trudno jest zrozumieć również jak absolutne „nic” może przejawiać jakąkolwiek aktywność (w tym według Shipova tworzyć informację).

Poziom IV to plazma. Tyle tylko, że i w tym przypadku pojawiają się niezgodności, a właściwie własna nadinterpretacja pojęcia cząstek elementarnych. Według podstawowej wiedzy plazmą nazywamy całkowicie zjonizowany gaz o dużej koncentracji cząstek naładowanych, w którym liczba elektronów jest równa liczbie jonów dodatnich, powstałych w wyniku oderwania z powłoki walencyjnej minimum 1 elektronu. Trudno napisać, że cząstką elementarną jest jon dodatni każdego pierwiastka z wyjątkiem protu  $^1\text{H}$ .

Pozostaje jeszcze do omówienia plan drugi czyli pierwotne pole wirowania – pole torsyjne. Według Shipova pole to pole informacji, a nie energii. Z tego prostego założenia Shipov wywodzi wszystko co chce i pasuje do jego opinii. Nie istnieją mierzalne wielkości charakteryzujące pola torsyjne, zatem nie można ich niczym pomierzyć, a to wszystko dlatego, że niosą ze sobą informację, a nie energię. Nie ma możliwości ekranowania się przed nimi, a tym samym ochrony. Shipov uważa, że pola torsyjne rozchodzą się z prędkością o wartościach miliardy razy większą od prędkości światła, charakteryzują się ogromną przenikalnością przez przeszkody materialne a także praktyczną niezależnością własności od odległości ich przesyłania [5]. Niestety nie ma dowodów na poparcie swojej teorii. Dodatkowo informuje, że pola torsyjne to rodzaj materii przenoszącej informację zamiast energii. To lewoskrętne oraz prawoskrętne "wiry Absolutnego Niczego" nasycają próżnię informacją [6,7]. Tylko jak transportować informację bez pośrednictwa energii?

Informacja (łac. *informatio* – przedstawienie, wizerunek; *informare* – kształtować, przedstawiać) to cecha, właściwość pewnych obiektów lub relacja między ich elementami, której istotą jest zmniejszanie nieokreśloności, niepewności tego co o tych obiektach wiemy. W ujęciu technicznym jest to sygnał, któremu da się przypisać jakieś znaczenie. Zatem nie ma możliwości transportu informacji bez użycia energii. Nie można oddzielić informacji od energii i czegoś co ją przenosi. Zatem nie ma możliwości, aby prędkość rozchodzenia się informacji była większa niż prędkość światła. Wykorzystanie splątania kwantowego prowadzącego do paradoksu EPR, nazwane przez Einsteina "upiornym oddziaływaniem na odległość" do wyjaśnienia teorii opisywanych przez Shipova, też okazuje się bezskuteczne.

Na koniec konkluzja przychodzi sama: Nowe odkrycia są bardzo cenne i dobre, tylko muszą być mierzalne, powtarzalne i sprawdzalne.

## Literatura

- [1] <https://igya.pl/114-aktualnosci/z-ostatnich-dni/610-pola-torsyjne-i-pronia-fizyczna>
- [2] Akimov A.E., Shipov G.I.: Torsion fields and experimental manifestation, Proc. Internat. Conf. on New Ideas in Natural Sciences, St. Petersburg, June 1996, s. 221, New Energy News 2017, pp.11-14.
- [3] Akimov A., Tarasenko V.: Models of polarized states of the physical vacuum and torsion fields, Sov. Phys. J., March 1992, s. 214.



- [4] <http://elektrofakty.pl/2019/12/20/pola-torsyjne-jako-zagrozenie-elektromagnetyczne-przyklad-pseudonaukowych-problemow/>
- [5] Pacocha H. Targański W. Zagadkowe pole torsyjne a oszczędności w chłodnictwie. Technika chłodnicza i klimatyzacyjna 10/2006 [http://www.tchik.com.pl/archiwum/2006/9/fale\\_torsyjne.pdf](http://www.tchik.com.pl/archiwum/2006/9/fale_torsyjne.pdf)
- [6] Yurth D., Torsion Field Mechanics: Verification of Non-local Field Effects in Human Biology, October 2000, Conference: 6th International Symposium of the New Energy Society At: Salt Lake City, Utah  
[https://www.researchgate.net/publication/282862907\\_Torsion\\_Field\\_Mechanics\\_Verification\\_of\\_Non-local\\_Field\\_Effects\\_in\\_Human\\_Biology](https://www.researchgate.net/publication/282862907_Torsion_Field_Mechanics_Verification_of_Non-local_Field_Effects_in_Human_Biology)
- [7] <http://www.rexresearch.com/akimovtorsion/akimovtorsion.html>

## POST-STROKE HAND REHABILITATION

Ewa KORZENIEWSKA<sup>1</sup>, Andrzej KRAWCZYK<sup>2</sup>, Artur SZCZĘSNY<sup>1</sup>, Rafał ZAWIŚLAK<sup>3</sup>,  
Józef MRÓZ<sup>4</sup>, Elżbieta WYSZYŃSKA<sup>4</sup>, Sylwia WIŚNIEWSKA<sup>4</sup>, Jacek STAŃDO<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Lodz University of Technology, Institute of Electrical Engineering Systems

<sup>2</sup> University of Economy and Innovations, Faculty of Transport and Computer Science, Lublin

<sup>3</sup> Lodz University of Technology, Institute of Automatic Control

<sup>4</sup> Military Institute of Medicine, Clinic of Rehabilitation, Warsaw

<sup>5</sup> Lodz University of Technology, Centre of Mathematics and Physics

### Introduction

Physical vapor deposition (PVD) is recognized as an environmentally friendly technique for functionalizing textile materials. It is a process in which thin layers are deposited by condensation of evaporated metal on the substrate. The PVD process is carried out in a vacuum. In this method, the high purity metal is brought to a temperature where it is liquefied, and then it is vaporized from the thermal resistance source. It should be noticed that the metal being evaporated has a low melting point and the thermal resistance source is most often made of tungsten or molybdenum.

Coatings produced using this technology are used, inter alia, in the automotive, aerospace, medical, military and textile industries. Physical deposition from the gas phase gives new possibilities for the modification of textile materials and is a perspective for use in the design of smart textiles and wearable electronics [1–3].

Using PVD technology, it is possible to produce continuous electroconductive metal layers that can be used as dry electrodes both to monitor the patient's health condition as well as electrodes used for electrostimulation of the human body. It should be noticed that in many cases patients are affected by multiple illnesses and the electrostimulation is contraindicated in many cases such as early period of muscle damage (7-10 days), benign and malignant tumors, insufficiency of blood vessels, inflammation of the skin or soft tissues, etc. So the multi-perspective view on patient data is necessary to improve medical decision making [4]. The authors of this article present the results of their research on the creation of metallic electrodes on a textile substrate using the PVD process. The generated electrodes are an alternative to existing textronics solutions used in gloves for electrostimulation of fingertips and are intended for patients with degeneration of the joints, which makes put on a glove impossible.

### New Solution

Obtaining an electroconductive structure is a major technological challenge. Obtaining a thin metallic layer with electrical continuity requires the usage of a suitable substrate. Deposition of metal on the surface of the textiles is usually doomed to failure. The thread is a porous structure made of single fibers. The differences in the adhesion of the metal to its structure results from this point of view. For this reason, it is difficult to create a continuous thin layer with good electroconductivity properties resistant to mechanical deformation [9]. The conductive layer deposited on the surface of the fabric due to the porosity of the substrate penetrates into its depth in a greater or lesser degree. This is the reason for the difficulty of creating continuous, thin metallic layers on fabrics or knits.

Therefore, the creation of electrical circuit elements on textiles requires the selection of a substrate that will not only provide good adhesion of the metal to its surface, but also enable the formation of a thin, constant-thickness electrically conductive structure, that can lead to the hot spots appearing [10, 11]. Lack of proper adjustment of the substrate results in the formation of metallic coatings only on the surface of the thread which are the main part of each textile product without maintaining the continuity of the path

being an element of the electrical circuit. In such case the layer breaks and peels off. There are no connections between individual threads. In addition, if the electroconductive structures are produced on textile substrates using different technologies.

To enable rehabilitation of people after stroke, for whom it is difficult to put the gloves on, due to the spasticity after stroke and too much contraction of the fingers muscles, the authors proposed a new solution in the form of disposable electrodes created on substrates commonly used as patches.



**Fig. 1.** The new solution for tip stimulation

### References

- [1] Jakubas A., Lada-Tondyra E., Nowak M.: Textile sensors used in smart clothing to monitor the vital functions of young children, *Progress in Applied Electrical Engineering, PAEE* (2017) Article number 8008989,
- [2] Rymarczyk T., Kłosowski G., Tchórzewski P., Cieplak T., Kozłowski, E.: Area monitoring using the ERT method with multisensor electrodes, *Przeгляд Elektrotechniczny*, 95 (2019) no. 1 pp 153–156
- [3] Rymarczyk T.; Nita P.; Vejar A.; Wos M., Stefaniak B., Adamkiewicz, P.: Wearable mobile measuring device based on electrical tomography *Przeгляд Elektrotechniczny*, 95 (2019) no. 4 pp. 211–214
- [4] Glinka K., Wosiak A., Zakrzewska D.: Improving children diagnostics by efficient multi-label classification method. In: *Information Technologies in Medicine, Book Series: Advances in Intelligent Systems and Computing*, 471, (Springer 2016).
- [5] Dinse H.R., Kattenstroth J.C., Gattica Tossi M.A., Tegenthoff M., Kalisch T.: Sensory stimulation for augmenting perception, sensorimotor behaviour and cognition. *Augmenting Cognition*, H. Markram, I. Segev (eds). EPFL Press: (2011) pp. 11–39,
- [6] David M., Dinse H.R., Mainka T., Tegenthoff M., Maier C.: High-Frequency Repetitive Sensory Stimulation as Intervention to Improve Sensory Loss in Patients with Complex Regional Pain Syndrome I, *Front. Neurol.* 6, (2015) pp 242–248.
- [7] Goats G. C., Interferential current therapy, *British Journal of Sports Medicine*, 24, no. 2, (2012) pp. 87–92

- [8] Krawczyk A., Wszyńska E., Wiśniewska S., Mróz J., Korzeniewska E., Murawski P., Wojak M.: Electrostimulation in medicine – history and contemporary usage, *Przegląd Elektrotechniczny*, 94 (2018) no. 12 pp. 230–233
- [9] Korzeniewska E., Jóźwik J., Zawislak R., Krawczyk A., Michałowska J.: "Resistance of metallic layers used in textronics systems to mechanical deformation" *Przegląd Elektrotechniczny*, 93 (2017) no. 12 pp. 111–114
- [10] Korzeniewska E, Szczesny A. Krawczyk A., Murawski P. Mroz J.: Analysis of the temperature field around the thin electroconductive layers formed on the substrates 18th International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering, ISEF 2017 Article number 8090773.
- [11] Korzeniewska E. Szczesny, A., Krawczyk A., Murawski P., Mróz J., Seme S.: Temperature distribution around thin electroconductive layers created on composite textile substrates *Open Physics* 16 (2018) no. 1, pp 37–41

# PROTOTYPE OF TEXTRONIC SENSOR FOR *STAPHYLOCOCCUS AUREUS* DETECTING CREATED WITH PHYSICAL VACUUM DEPOSITION PROCESS

Ewa KORZENIEWSKA<sup>1</sup>, Artur SZCZĘSNY<sup>1</sup>, Piotr LIPIŃSKI<sup>2</sup>,  
Tomasz DRÓŹDŹ<sup>3</sup>, Paweł KIEŁBASA<sup>3</sup>, Anna MIERNIK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Lodz University of Technology, Faculty of Electrical, Electronic,  
Computer and Control Engineering

<sup>2</sup> Lodz University of Technology, Faculty of Technical Physics,  
Information Technology and Applied Mathematics

<sup>3</sup>University of Agriculture in Krakow, Faculty of Production and Power Engineering

## Introduction

Human skin is the largest organ of the body, constituting a barrier against the attack of microorganisms, including pathogenic ones [2]. Many microorganisms inhabit human skin. The most numerous are bacteria and fungi. These microorganisms can be divided into two groups: permanent and transient microflora - periodically appearing. The presence of auto- and allochthonous flora on the skin depends on many environmental and individual factors [1]. Areas of the skin, e.g., groins or armpits, where higher temperature and humidity occur, favor the development of microorganisms - mainly Gram-negative bacteria or *Staphylococcus aureus* [2-5]. Using the methods of genetic engineering, it has been established that the solid microflora of the skin includes coagulose negative staphylococci, bacteria of the genera: *Corynebacterium*, *Propionibacterium*, *Brevibacterium* or *Micrococcus*. In contrast, transient colonizers (mainly in pathological conditions) includes *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus pyogenes* and *Pseudomonas aeruginosa* [2,6-8].

Skin infections are most often caused by staphylococci and streptococci [9]. *Staphylococcus aureus* is the only coagulose-positive staphylococcus commonly found on the skin and mucous membranes of humans. Usually, it does not appear on the skin of a healthy person, but it inhabits the mucous membranes of the nose and throat. In a healthy human population, the carrier of *Staphylococcus aureus* varies from 18 to 40% according to various studies. It is believed that persistent carriage affects about 20% of the population. In some of them, the carrier has never occurred [5,10].

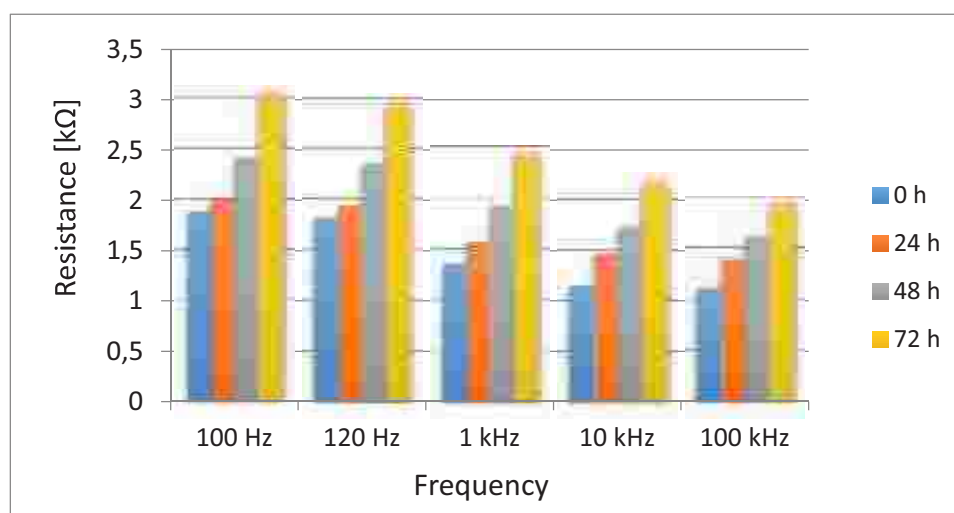
Experimental determination of the occurrence of microorganisms requires the use of analyzes which main limitations are the time and sensitivity of the method. Biosensors are a promising alternative tool for the rapid detection of microorganisms, and because of their potential, they are used in various spheres of human life [11].

The authors of this paper present a prototype of a textronic sensor that can be integrated with human clothing. Such sensors can be part of a wearable electronic system.

## Results and Discussion

Silver is a metal with a broad spectrum of antimicrobial activity, and at the same time, it exhibits low toxicity towards mammalian cells. Because of the interaction of silver with bacteria, creating sensors based on that metal is justifiable. In the course of the conducted research, changes in the electrical parameters of the produced textronic sensor were observed. These changes depended on the time of bacterial cultivation, and thus the increase of its population. As can be seen in Figure 1, due to increasing the number of bacterial colonies, an increase in sensor resistance is observed. Differences in resistance values also depend on the frequency of the measurement signal. As the frequency of the signal increases,

a lower resistance value of the electrodes is observed as well as a smaller increase in the value of resistance as a function of the time of bacterial cultivation.



**Fig. 1:** The influence of the bacteria amount on the IDEs resistance for the different frequency of measurement signal.

### Conclusions

Despite the advances that are observed in medicine, *Staphylococcus aureus* is still a threat to humans. The use of silver as an antibacterial metal is often found. In this article, the interaction of silver with the bacteria has been used to detect its presence and development. The increase in the number of bacteria causes changes in the electrical parameters of the sensor produced. Due to the nature of the substrate on which the reactive structures were made, it is possible to implement the sensor for various types of textile products.

### References

- [1] Zych M.A., Górska E.B., Jankiewicz U., Kowalczyk P. 2013. Środki dezynfekcyjne oraz skuteczność ich działania na drobnoustroje skóry. *Nowa Medycyna*, 1,31-34.
- [2] Malinowska M., Tokarz- Deptuła B., Deptuła W. 2017. Mikrobiom człowieka. *Postępy mikrobiologii*, 56,1, 33-42.
- [3] Akiyama H., Morizane S., Yamasaki O., Oono T., Iwatsuki K. 2003. Assessment of *Streptococcus pyogenes* microcolony formation in infected skin by confocal laser scanning microscopy. *J. Dermatol. Sci.* 32, 193–199
- [4] El Baze P., Thyss A., Caldani C., Juhlin L., Schneider M., Ortonne J.P. 1985 *Pseudomonas aeruginosa* O-11 folliculitis. Development into ecthyma gangrenosum in immunosuppressed patients. *Arch. Dermatol.* 121, 873–876
- [5] Noble W.C.1998. Skin bacteriology and the role of *Staphylococcus aureus* in infection. *Br. J. Dermatol.* 139, 9–12
- [6] Grice E.A., Segre J.A. i wsp. 2009. Topographical and temporal diversity of the human skin microbiome. *Science*, 324, 1190–1192
- [7] Grice E.A., Segre J.A. 2011. The skin microbiome. *Nature Rev. Microbiol.* 9, 244–253
- [8] Leyden J.J., McGinley K.J., Nordstrom K.M., Webster G.F.1987. Skin microbiota. *J. Invest. Dermatol.* 88, 65–72
- [9] Zych M.A., Górska E.B., Jankiewicz U., Kowalczyk P., Stępień W. 2013. Choroby wywoływane przez drobnoustroje bytujące na skórze. *Medycyna Rodzinna*, 4, 158-163.
- [10] Lowy FD. 1998. *Staphylococcus aureus* infections. *The New England Journal of Medicine*.339: 520-532.
- [11] Dobroczyńska J.I. Układy detekcyjne do identyfikacji mikrobiologicznej. <http://www.eko-dok.pl/2013/12.pdf>

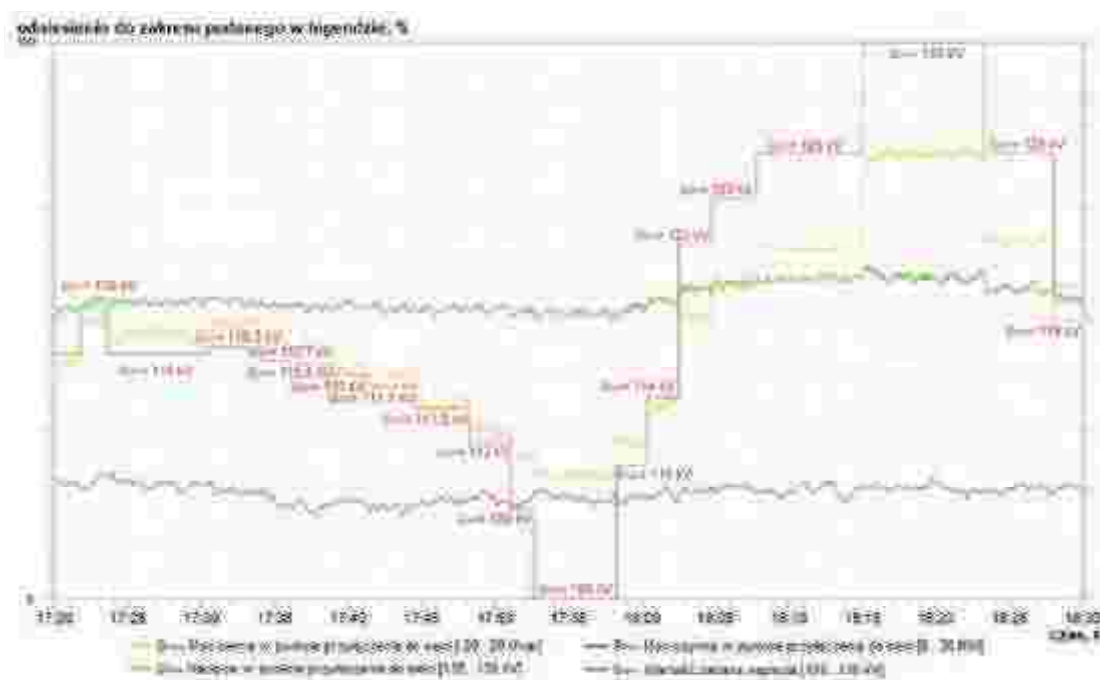
# ANALIZA WPŁYWU FARMY WIATROWEJ NA JAKOŚĆ ENERGII ELEKTRYCZNEJ W SIECI DYSTRYBUCYJNEJ

Joanna KOZIEŁ, Grzegorz KOMARZYNIC,  
Andrzej WAC-WŁODARCZYK, Ryszard GOLEMAN

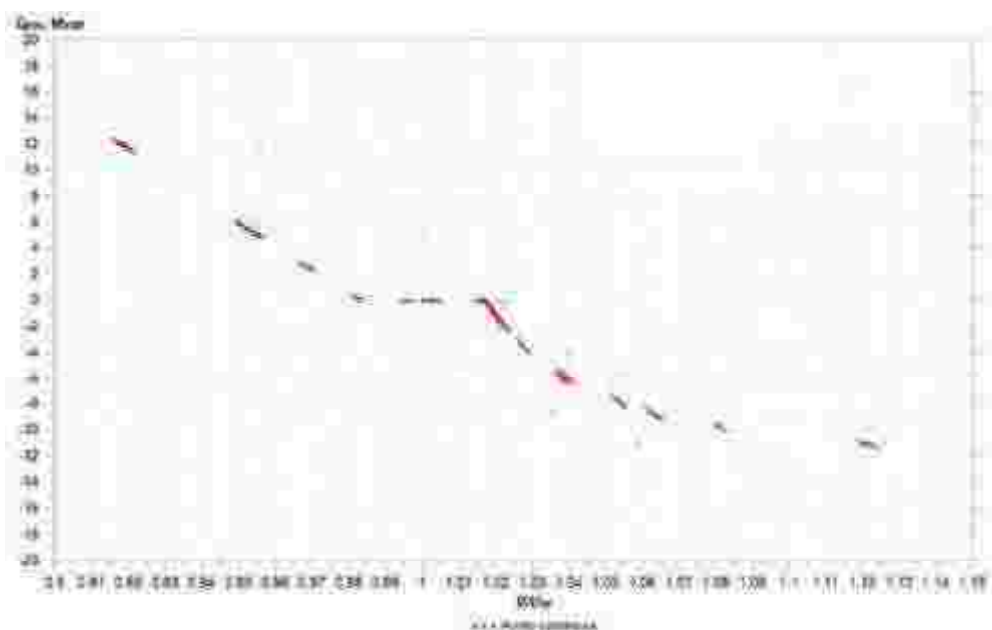
Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki,  
Katedra Elektrotechnologii i Elektrotechnologii

## Wprowadzenie

Celem badań jest przyjrzenie się możliwościom regulacyjnym farm wiatrowych i wpływie, jaki wywierają one na KSE (Krajowy System Elektroenergetyczny) [2]. Zakresy regulacji zależą głównie od prędkości wiatru. Należy więc przyrzeć się nie tylko czynnikom bezpośrednim, ale także pośrednim. Zakres badań obejmuje nie tylko możliwości regulacyjne farm wiatrowych, ale także wpływ czynników pośrednich, na przykład prędkości wiatru, która zależy od umiejscowienia danej farmy na terenie wietrznym i która to ma decydujący wpływ na produkcję energii w farmie wiatrowej.

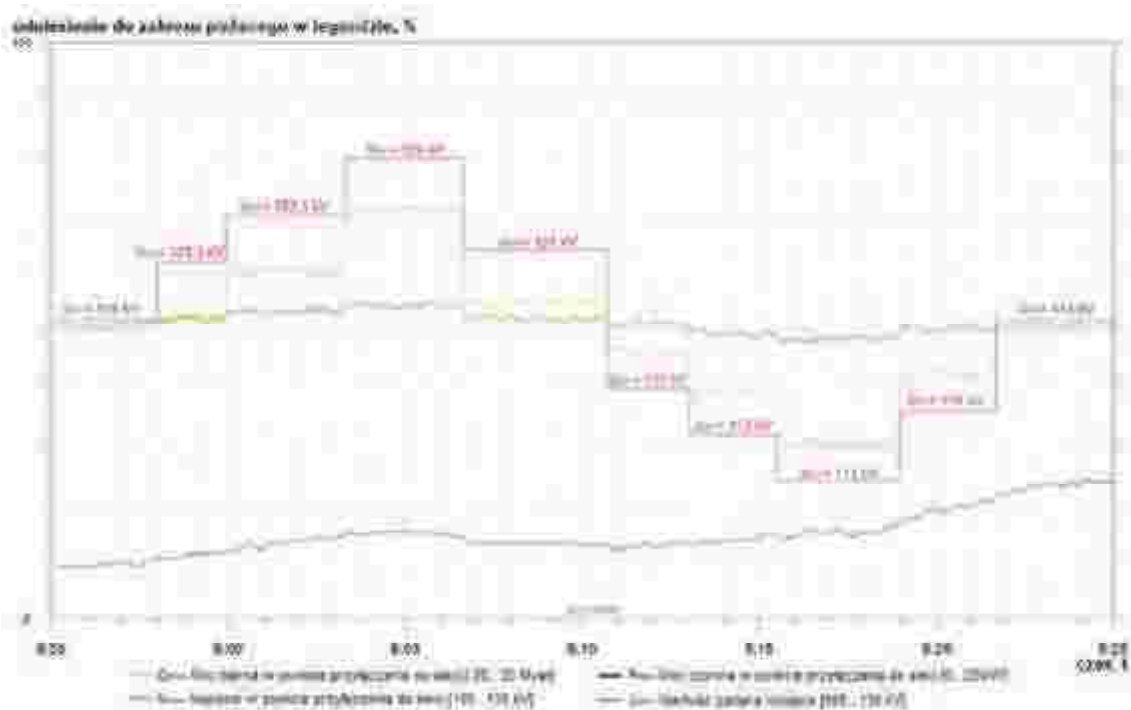


Rys. 1. Przebieg napięcia, mocy czynnej i mocy bierniej w punkcie przyłączenia do sieci podczas próby regulacji[1]



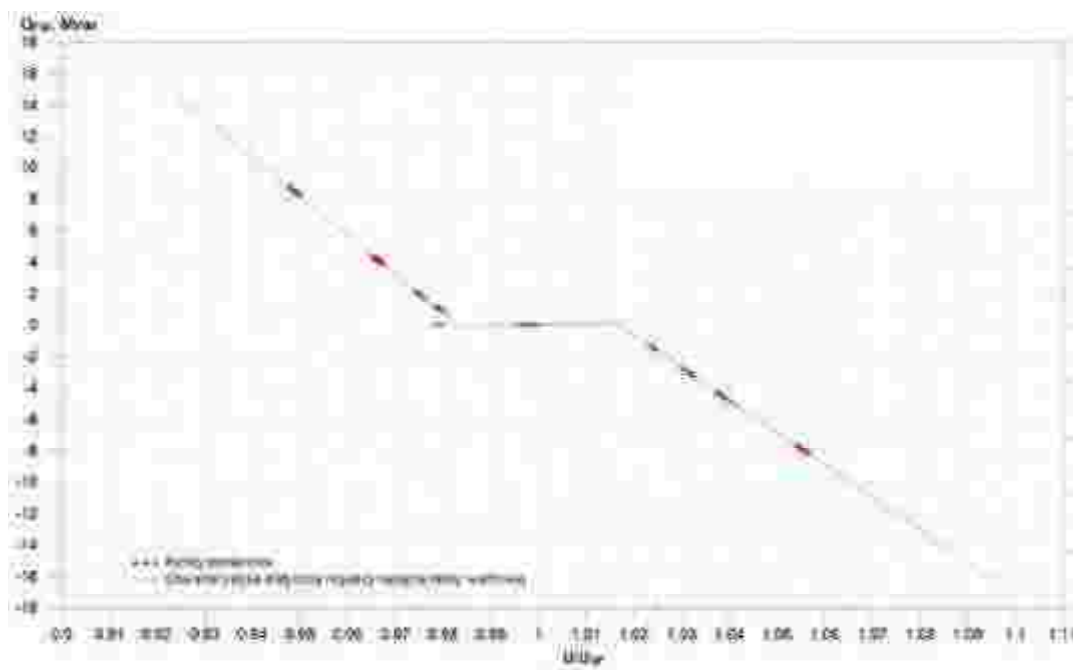
**Rys. 2.** Charakterystyka statyczna regulacji napięcia farmy wiatrowej w województwie lubelskim [1]

Farmy wiatrowe mają obowiązek prowadzenia okresowych badań możliwości regulacyjnych (wymogi określone w IRiESD[2]). Dzięki stałemu nadzorowi możliwe jest wprowadzenie zmian w charakterystykach poprzez manipulację sterownikiem farmy wiatrowej. W trakcie badań analizowano przypadek regulacji napięcia. Na rysunku 2 zaprezentowano rzeczywistą charakterystykę statyczną regulacji napięcia FW. Następnie wprowadzono poprawki w systemie SCADA FW. Skorygowano charakterystykę funkcji  $Q=f(P)$ , czego efekty widać na wykresach (Rys. 3-4).



**Rys. 3.** Przebieg napięcia, mocy czynnej i mocy biernej w punkcie przyłączenia do sieci po wprowadzeniu zmian [1]





Rys. 4. Charakterystyka statyczna regulacji napięcia farmy wiatrowej po wprowadzeniu zmian [1]

### Wnioski

Wyższe harmoniczne napięć i prądów należą do jednych z rodzajów zaburzeń, jakie pojawiają się w systemie elektroenergetycznym. Przez lata ich wartości w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym zmieniały się w wyniku rosnącej liczby odbiorników nieliniowych i malejącego udziału odbiorników rezystancyjnych, oraz działania przekształtników, prostowników, czy oświetlenia wyładowczego. Harmoniczne powodują nadmierne nagrzewanie się urządzeń elektrycznych i przewodów zasilających, zakłócenia w napędach o zmiennej prędkości obrotowej i pulsacje momentu w silnikach. W ciągu ostatniej dekady nastąpiła jednak widoczna poprawa. Wzrosła świadomość i poziom wiedzy związany z obecnością wyższych harmonicznych w sieci, dlatego wielkość harmonicznych w miejscu przyłączenia farmy wiatrowej do systemu jest tak ważna.

### Literatura

1. Praca dyplomowa magisterska. Mateusz Zaręba, Ocena wpływu farmy wiatrowej na jakość energii w sieci dystrybucyjnej, Politechnika Lubelska, Lublin 2019,
2. Norma EN 50160:2010
3. Pijarski P., Wydra M., Kacejko P.: Optimal control of wind power generation, Advances in Science and Technology Research Journal, vol. 12, nr 1, s. 9-18, 2018

## ANALIZA PRACY WYBRANEJ INSTALACJI ODNAWIALNYCH ŹRÓDEŁ ENERGII

Joanna KOZIĘŁ, Michał MAJKA, Adam PAŁYS

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki,  
Katedra Elektrotechnologii i Elektrotechnologii

### Wprowadzenie

W badaniach przeprowadzono analizę pracy generatora. Zastosowane do pomiarów urządzenie spełnia wymogi PN-EN 61010-1 dla kategorii pomiarowej IV 600 V oraz dla izolacji podwójnej z zamkniętą pokrywą obudowy. Natomiast dla otwartej obudowy spełnione zostają wymagania kat. IV 600 V z izolacją podstawową. Urządzenie za pomocą czterech wejść prądowych umożliwia pomiar natężenia prądu za pomocą przyłączonych cęgów prądowych.



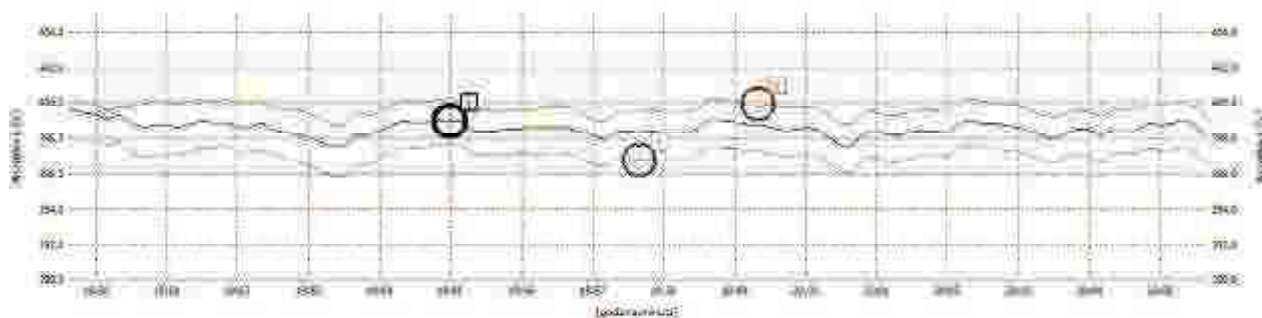
**Rys. 1.** Widok generatora energii elektrycznej oraz silnika spalinowego zasilanego biogazem [2]

Do badania użyto cęgi giętkie F-1 o nominalnym zakresie pomiarowym 3000 A. Analizator zasilany był z badanej sieci elektroenergetycznej za pomocą szczypiec przeznaczonych jednocześnie do pomiaru napięcia.

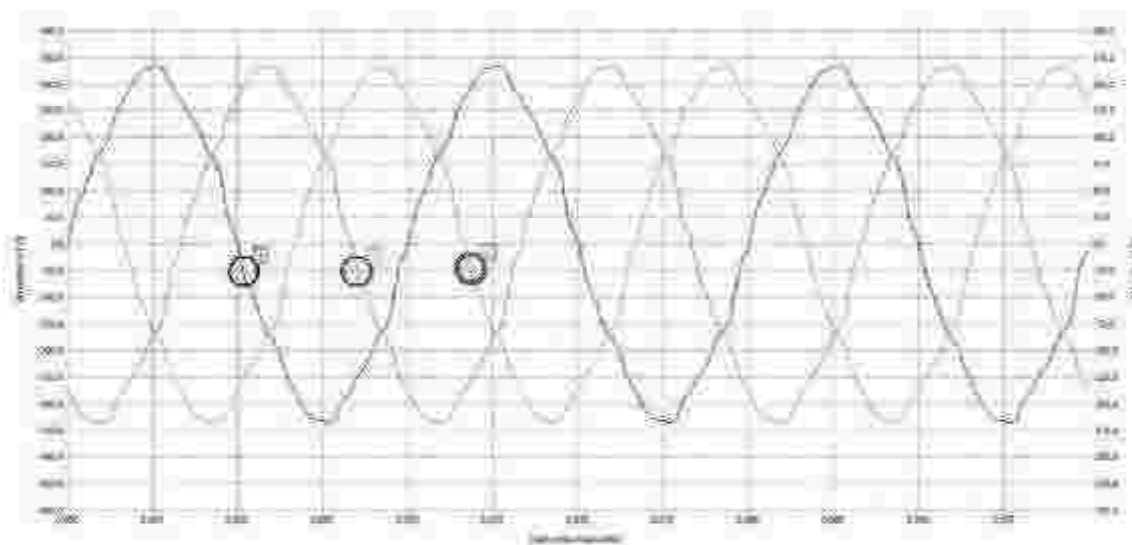


Rys. 2. Analizator jakości zasilania PQM-701[1]

Komunikacja z komputerem klasy PC odbywała się za pomocą izolowanego galwanicznie portu USB o szybkości 921,6 kbit/s lub łączem radiowym o szybkości 57,6 kbit/s. Urządzenie wyposażone jest w izolowaną galwanicznie kartę SD na której zapisywane są dane z wykonanych pomiarów [1,2].



Rys. 3. Napięcia międzyfazowe analizowanego fragmentu sieci NN bez generatora [2]



Rys. 4. Przebiegi napięć międzyfazowych badanego fragmentu sieci bez podłączonego generatora [2]

### **Wnioski**

Instalacje OZE silnie wpływają na sieci niskiego oraz średniego napięcia. Aspekty takie jak praca wyspowa, zakłócenia wprowadzane do sieci, generacja mocy biernej czy spadki napięcia w sieci to bardzo ważne problemy z jakim trzeba się zmierzyć myśląc o budowie oraz podłączeniu do istniejącej sieci mikroinstalacji.

### **Literatura**

1. Instrukcja obsługi – Analizator Jakości Zasilania PQM 701, Wersja 2.1, 2014
2. Pałys Adam, Wpływ instalacji OZE na sieci elektroenergetyczne niskiego napięcia i średniego napięcia, Politechnika Lubelska, 2020r.

# ANALIZA BEZPIECZEŃSTWA WYBRANYCH ZABIEGÓW KOSMETYCZNYCH ZE WZGLĘDU NA POZIOMY PÓŁ ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Joanna KOZIĘŁ<sup>1</sup>, Joanna MICHAŁOWSKA<sup>2</sup>, Andrzej WAC-WŁODARCZYK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Elektrotechnologii

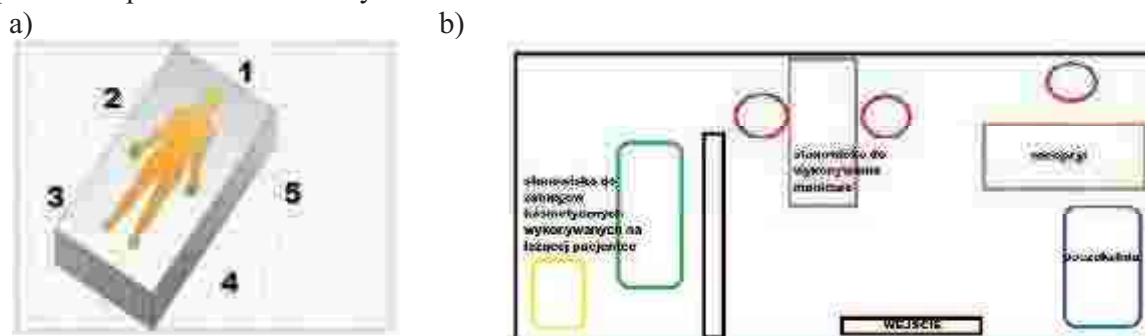
<sup>2</sup>Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Chełmie, Instytut Nauk Technicznych i Lotnictwa

## Wprowadzenie

Filozofia współczesnych czasów to: „*Żyj szczęśliwie (konsumpcyjnie) i wyglądaj dobrze!*”. Reklamy telewizyjne ciągle promują młody, atrakcyjny wygląd. Niestety upływ czasu ma wpływ na nasz wygląd. Porównując współczesne możliwości z tym co było dostępne 10- 20 lat temu dostrzegamy widoczny postęp zarówno zabiegów, jaki i rozwój wykorzystywanej do tego celu aparatury. Autorzy artykułu zadali sobie pytanie czy naprawdę wizyty u kosmetyczki pod względem zdrowia klienta (i personelu) są bezpieczne? Dalej postawiono pytanie – czy faktycznie urządzenia, które znajdują się na wyposażeniu gabinetu są dla klientów bezpieczne ze względu na emisję pola elektromagnetycznego.

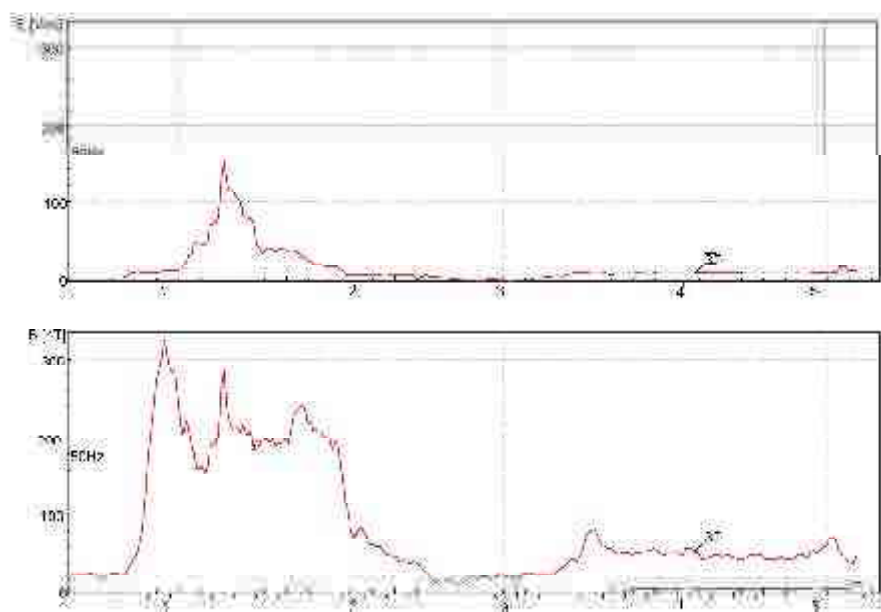
## Metodyka badań wykonanych w gabinecie kosmetycznym

Badania rozkładów przestrzennych pola elektromagnetycznego w otoczeniu urządzenia do wykonywania zabiegów kosmetycznych z wykorzystaniem ultradźwięków zostały wykonane przy wykorzystaniu miernika ESM-100 firmy Maschek wraz z oprogramowaniem zainstalowanym na komputerze PC. Stanowisko pomiarowe (rys. 1a) wraz z planem jego rozmieszczenia w gabinecie kosmetycznym podczas pomiarów przedstawiono na rys. 1b.



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe: a) plan rozmieszczenia punktów pomiarowych, b) plan pomieszczeń

Badane urządzenie jest zasilane z sieci o częstotliwości 50 Hz. Pomiary przeprowadzono w pięciu punktach pomiarowych. W celu przeprowadzenia analizy pomiędzy rozkładem natężenia pola elektromagnetycznego między dwoma przypadkami. Pierwszy - pracującym urządzeniem, drugi – urządzeniem oczekującym na pracę (tło). Pomiary wykonano w dwóch przypadkach przy zachowaniu tych samych warunków fizycznych. Na rysunku 2 został przedstawiony rozkład natężenia pola elektromagnetycznego podczas pełnego cyklu pracy urządzenia.



**Rys. 2.** Rozkład natężenia pola elektromagnetycznego w poszczególnych pionach pomiarowych

Największe wartości dla składowej magnetycznej zostały osiągnięte między punktem pomiarowym 1 i 2 gdzie znajduje się głowa pacjenta, jak i personel obsługujący urządzenie.

### Wnioski

Analizując wyniki pomiarów tła w stosunku do uzyskanych wyniki pomiarów podczas wykonywania zabiegu należy podkreślić, że wartości dla zmierzonych wartości indukcji magnetycznej są dwukrotnie wyższe. Natomiast uzyskane wartości pola elektrycznego wytworzonego przez urządzenie są kilkakrotnie wyższe. Niemniej jednak wartości normatywne określone w dyrektywą Parlamentu i Rady 2013/35/UE dyrektywie nie zostały przekroczone.

### Literatura

1. Bieńkowski P., Podlaska J., Zubrzak B., Electromagnetic field in the environment – estimation methods and monitoring, *Medycyna pracy*, 2019, 5/2019 vol. 70,
2. Łada-Tondyra E., Krawczyk A., Electromagnetic field in medical diagnostic in the light of the newest ICNIRP document, *Przegląd Elektromagnetyczny*, R. 93, nr 12, 2017, str. 179-182
3. Krawczyk A, Wyszyńska E, Wiśniewska S, Mróz J, Korzeniewska E, Murawski P, Wojak M, Electrostimulation in medicine – History and contemporary usage, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 94 NR 12/2018, str. 230-233,
4. Michalowska, J., Mazurek, P.A., Gad, R., Chudy, A., Koziel, J., Identification of the electromagnetic field strength in public spaces and during travel, 2019 *Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine*, PTZE 2019,
5. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013

# KONTROWERSJE WOKÓŁ SKUTKÓW ODDZIAŁYWANIA POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO NA OBIEKTY BIOLOGICZNE W ŚWIETLE POST-NORMALNEJ NAUKI

Andrzej KRAWCZYK<sup>1</sup>, Ewa KORZENIEWSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

<sup>2</sup>Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

Ponad pół wieku badań naukowych na temat bezpieczeństwa pola elektromagnetycznego, zarówno niskiej jak i wysokiej częstotliwości nie doprowadziło do zaprzestania negowania wyników tych badań. Wśród osób, instytucji, czy grup społecznych, negujących wyniki większości badań, które wskazują na nieszkodliwość pola elektromagnetycznego, można z łatwością wskazać na postawy, nie mające obiektywnych powodów do wypowiedzania się w tym temacie. Jest tak z powodu braku wiedzy. Istnieje jednak wcale niemała grupa badaczy, którzy prowadzą swoje badania, potwierdzające szkodliwy wpływ pola elektromagnetycznego na ludzki organizm. Czyżby nauka nie była w stanie jednoznacznie ocenić stan faktyczny? Co prawda nie jest to wyjątkowa sytuacja we współczesnym świecie i współczesnych – podobne kontrowersje spotyka się w sprawie zmiany klimatu, stosowania inżynierii genetycznej w rolnictwie i hodowli, zanieczyszczenia powietrza, czy rozwoju energetyki. We wszystkich tych sprawach istnieje wyraźna dychotomia w gronie ekspertów. Aby jakoś zapanować nad tą dychotomią wprowadzono w połowie lat dziewięćdziesiątych dwudziestego wieku pojęcie nauki post-normalnej (post-normal science - PNS), jako stanu kryzysowego nauki normalnej. Koncepcję nauki post-normalnej wprowadzili amerykańscy metodolodzy Funtowicz i Ravetz [1]. Koncepcja ta w pewien sposób nawiązuje do teorii rewolucji naukowych T. Kuhna [2], pochodzącej z lat sześćdziesiątych XX wieku. Kuhn wprowadził do nauki pojęcie paradygmatu, który jest zbiorem przekonań naukowych, udowodnionych teorii i hipotez w ramach przyjętego w świecie naukowym porozumienia. Kiedy istniejące teorie i przekonania podważane są przez nowe eksperymenty, wówczas następują owa rewolucja kuhnowska, czyli okres niepewności i pewnego rodzaju chaosu i po pewnym czasie społeczność naukowa przyjmuje nowy paradygmat. Koncepcja post-normalnej nauki nie wprowadza naprzemiennych okresów paradygmatu i rewolucji, a przyjmuje, że nauka normalna (paradygmat) nie jest w stanie rozwiązać postawionych przed nią zadań i popada w stan permanentnej rewolucji/kryzysu. Jest to dosyć niebezpieczne dla rozwoju nauki, albowiem zwalnia badaczy z intensywnych poszukiwań wyjścia z kryzysu. Najogólniej rzecz ujmując, nauka post-normalna istnieje w przypadku istotnej koincydencji niepewności systemu badawczego i wysokiej stawki oceny wyników badań, czyli tam gdzie skutki decyzji badaczy mogą być trudne do akceptacji społecznej. Wood [3] włącza badania elektromagnetyczne w obszar nauki post-normalnej, co pozwala mu umieścić w niej wymienione na początku kontrowersje.

W takim podejściu, jakie wprowadza nauka post-normalna, nie istnieją naturalne stymulacje badaczy do zwiększania wiarygodności badań poprzez zastosowanie skuteczniejszych metod badawczych. Włączanie badań bioelektromagnetycznych do obszaru nauki post-normalnej powoduje zwiększanie się wpływu czynnika społecznego na wyniki badań. Szczególnie dotyczy to budowania meta-analiz, czy prac przeglądowych. W wielu przypadkach to właśnie „zaniepokojenie opinii publicznej” skłania autorów takich opracowań do akcentowania w wynikach takich analiz tych elementów, które wspomniane zaniepokojenie potwierdzają.

Należy postawić pytanie, czy włączenie problemów bioelektromagnetyzmu do koncepcji post-normalnej nauki jest uzasadnione? Jest, bo natura nauki w obszarze biologii, medycyny i generalnie nauki o materii

ożywionej, jest zawsze obciążona elementem niepewności. I żeby pozbyć się tych niepewności wprowadza się to oceny wyników badań narzędzia statystyczne, różnego rodzaju estymatory, które przybliżają do rzeczywistości. Widać to wyraźnie w naukach medycznych, w których dla osiągnięcia pewności, co do stosowania tej czy innej terapii, bądź tej czy innej szczepionki, potrzebne są badania statystyczne na bardzo licznej próbie pacjentów/ochotników. Ale w momencie osiągnięcia takiej pewności prowadzone badania wychodzą z obszaru nauki post-normalnej i wchodzi w obszary nauki stosowanej/normalnej. I to prowadzi do konkluzji, że włączanie badań bioelektromagnetycznych do nauki post-normalnej powinno być czasowo ograniczone. Stąd przekonanie niektórych ekspertów i naukowców o stałej przynależności badań bioelektromagnetycznych wydaje się nieuprawnione. Podobnie nieuprawnione wydają się być „zaniepokojenie opinii publicznej”, budowane właśnie na niepewności nauki i kontrowersjach w gronie ekspertów.

Powyższe rozważania nie mają na celu budowania poczucia pewności rozstrzygnięć naukowych, a prowadzą jedynie do przekonania, że w pewnym zakresie metodycznym (założenia, ograniczenie aparatu badawczego, jakość badań statystycznych) i na pewnym etapie rozwoju danej dziedziny wiedzy nauka może generować sądy rozstrzygające. Co więcej, przy takim podejściu, można wyznaczyć luki w danym obszarze wiedzy, w których wyjaśnianie należy skierować aparat poznawczy.

Dr Leszczyński, ekspert w dziedzinie rozwiązywania problemów bioelektromagnetyzmu podaje kilka takich zagadnień, które, w jego opinii, pozostały jeszcze niedostatecznie wyeksplorowane [4]. Problemy te są następujące:

- Zmiany genetyczne i białkowe u ochotników poddanych działaniu PEM
- Wrażliwość osobnicza
- Badania epidemiologiczne prowadzone w warunkach realnej ekspozycji
- Efekty oddziaływania PEM na DNA
- Bariera mózg-krew (Blood-Brain Barrier)
- Biologiczne i zdrowotne efekty wpływu technologii 5G na skórę
- Rozwój standardowych metod testowania

Przytoczone wyżej obszary niewiedzy, bądź wiedzy ograniczonej, stanowią materiał do dyskusji. Wydaje się, że część z tych obszarów została już rozwiązana i jest podstawą do formułowania stwierdzeń rozstrzygających.

#### Literatura

- [1] Ravetz J, Funtowicz S. 2015. The future of public trust in science. *Nature* 524:161
- [2] Kuhn T. 1962. *Structure of scientific revolutions*. University Chicago Press
- [3] Wood AW. 2019. Post-normal science and the management of uncertainty in bioelectromagnetic controversies. *Bioelectromagnetics* 40:201–206
- [4] Leszczyński D. 2017. Brief Report on Gaps in the Knowledge, <https://betweenrockandhardplace.wordpress.com/tag/dariusz-leszczynski/>



# CONTROL SYSTEM OF DOUBLY-FED INDUCTION GENERATOR SUPPLIED BY THE CURRENT SOURCE CONVERTER

Paweł KROPLEWSKI<sup>1</sup>, Marcin MORAWIEC<sup>2</sup>, Andrzej JĄDERKO<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Politechnika Gdańska

<sup>3</sup> Politechnika Częstochowska

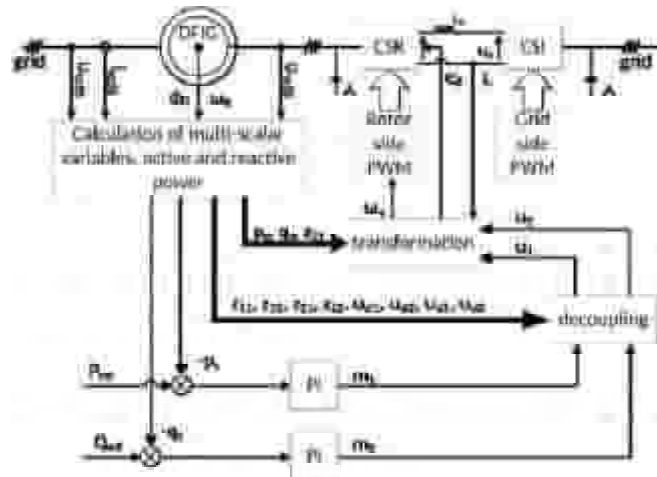
Głównymi powodami stosowania napędów przekształtnikowych w turbinach wiatrowych są: redukcja naprężeń w układzie mechanicznym, redukcja hałasu oraz możliwość kontrolowania przepływu mocy czynnej i biernej.

Układy napędowe oparte o konstrukcje statycznych przekształtników mocy (tyrystorowe falowniki i prostowniki prądu) były popularne w latach 70. [1] i 80. [2]. Ilość wytwarzanej przez układ mocy zależy od prędkości wiatru. Prędkość wirnika zmienia się w ograniczonym zakresie. Aby uzyskać maksymalną sprawność i wytwarzaną moc, układ sterowania powinien wybrać optymalny punkt pracy [3].

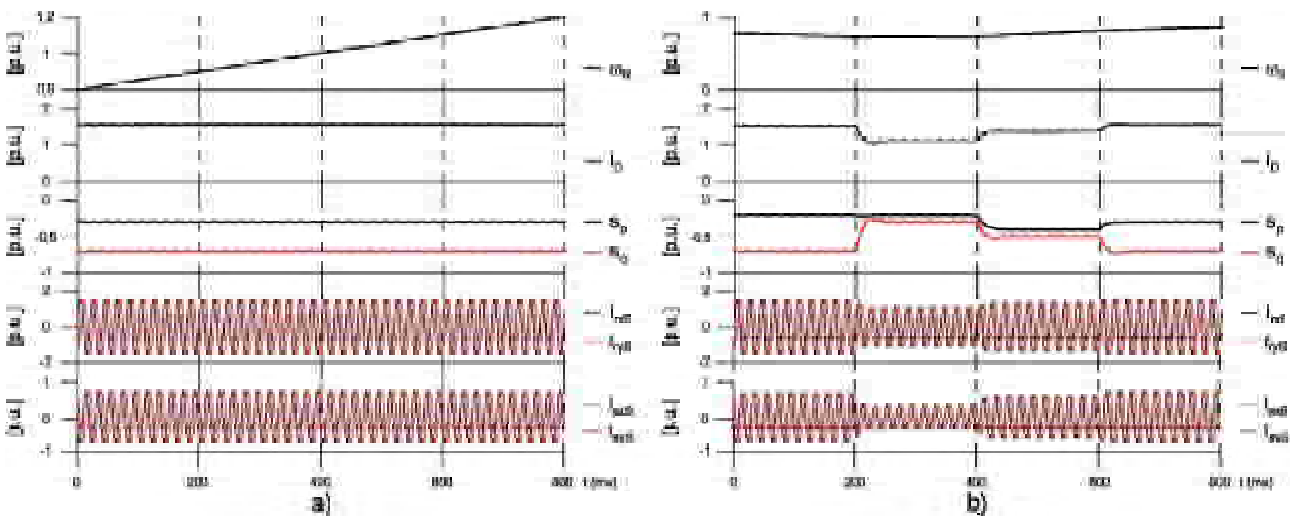
W literaturze omawiane jest najczęściej sterowanie połowe maszyny dwustronnie zasilanej z falownikiem napięcia. Jednym z powszechnych sposobów jest sterowanie z orientacją względem strumienia stojana [4], drugim jest orientacja względem napięcia stojana [5]. Inna metoda sterowania oparta jest na modelu multiskalarnym [6].

Maszyna dwustronnie zasilana pracuje jako generator ze stojanem podłączonym do sieci i wirnikiem zasilanym przez sterowany napięciowo falownik prądu. W artykule autorzy proponują zastosowanie sterowania multiskalarnego dla falownika. Sterowanie to jest uproszczoną wersją pokazaną w [7] – wykorzystującą tylko dwa regulatory PI, po jednym w torze regulacji mocy czynnej i mocy biernej. Układ sterowania zorientowany jest względem wektora prądu wyjściowego falownika. Schemat układu przedstawiono na rys. 1. Obie te wielkości są kontrolowane przez regulację napięcia wejściowego obwodu pośredniczącego  $e_a$  i prędkości kątowej prądu wyjściowego falownika  $\omega_{ir}$ , co umożliwia utrzymanie referencyjnych wartości mocy.

Badania symulacyjne układu sterowania maszyny dwustronnie zasilanej pozwoliły na ocenę pracy układów w przypadku normalnych warunków pracy. Przeprowadzone symulacje pokazały, iż zaproponowana modyfikacja metody multiskalarniej zapewniła stabilną pracę napędu, dużą dynamikę oraz zwiększoną jakość energii przekazywanej do sieci. Na rys. 2 przedstawiono część wyników badań symulacyjnych.



Rys. 1. Schemat układu sterowania maszyną dwustronnie zasilaną



Rys. 2. Wyniki symulacyjne: a) przejście przez prędkość synchroniczną; b) skoki mocy czynnej i biernej

## Literatura

- [1] Pillai S. K., Desai K. M.: A static scherbius drive with chopper, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, vol. IECI-24, no. 1, pp. 24–29, 1977
- [2] Smith G. A., Nigim K. A.: Wind-energy recovery by a static Scherbius induction generator, IEE Puoc. C, vol.128, no. 6, pp. 317–324, 1981
- [3] Fortmann J.: Modeling of Wind Turbines with Doubly Fed Generator System, University Duisburg-Essen, 2014
- [4] Ma J., Zhao D., Yao L., Qian M., Yamashita K., Zhu L.: Analysis on application of a current-source based DFIG wind generator model, CSEE Journal of Power and Energy Systems, vol. 4, no. 3, pp. 352–361, 2018
- [5] Koczara W., Przybylski J., Drechsler H.: Oriented Control in the Drive System Double-Fed Machine (DFM), IFAC Proceedings Volumes, vol. 20, no. 5, pp. 381–385, 1987
- [6] Geniusz A., Krzemiński Z.: Control system based on the modified multiscale model for the Double Fed Machine, Gdańsk University of Technology, 2005
- [7] Blecharz K., Morawiec M.: Nonlinear control of a doubly fed generator supplied by a current source inverter, Energies, vol. 12, no. 11, 2019

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# UWARUNKOWANIA ŚRODOWISKOWYCH POMIARÓW SYGNAŁÓW HPEM, HPM

Marek KUCHTA, Jacek JAKUBOWSKI, Roman KUBACKI

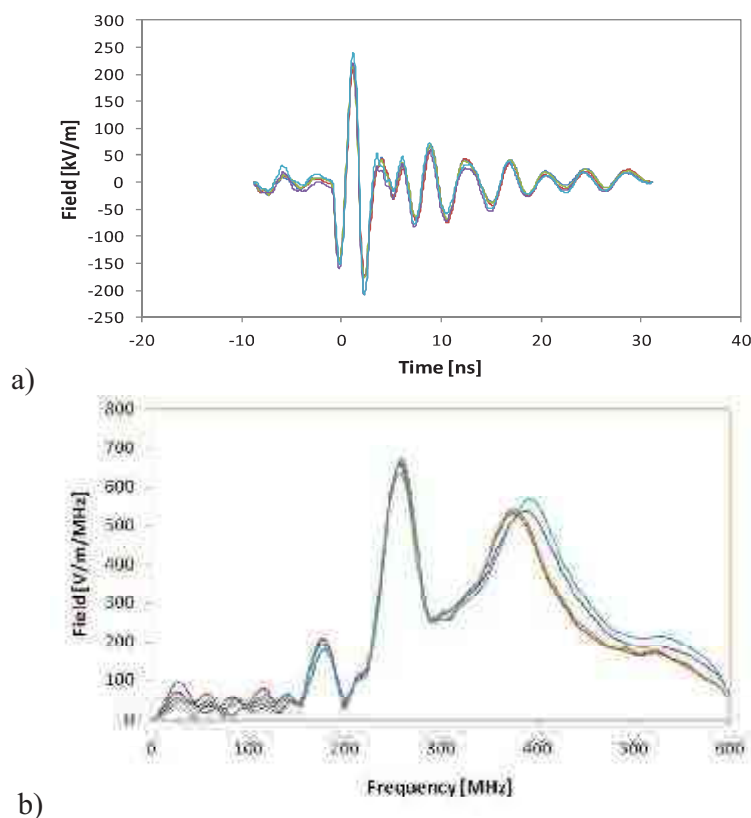
Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

## Wstęp

Obecnie na wyposażeniu armii większości krajów europejskich znajdują się uzbrojenia wykorzystujące broń z energią skierowaną (bomby E). Charakteryzują się one wytwarzaniem promieniowania o ekstremalnie wysokich mocach w impulsie (nawet rzędu GW), mającego zdolności niszczenia urządzeń elektronicznych. W takim przypadku niezabezpieczone wojskowe urządzenia elektroniczne mogą być łatwo zniszczone. Dostępne są również przenośne lub przewoźne generatory impulsów. Wzmiankowane wysokomocowe impulsy elektromagnetyczne nazywane są jako HPEM (z ang. High Power ElectroMagnetics). Powszechnie znane generatory wysokomocowych impulsów takie jak generator Marksa lub wirkator są źródłami impulsowego promieniowania mikrofalowego i są nazywane jako HPM (z ang. High Power Microwaves). Impulsy HPEM czy HPM mogą być wykorzystane do niszczenia infrastruktury krytycznej na szczeblu państwa lub służb reagowania kryzysowego w ramach ataku terrorystycznego.

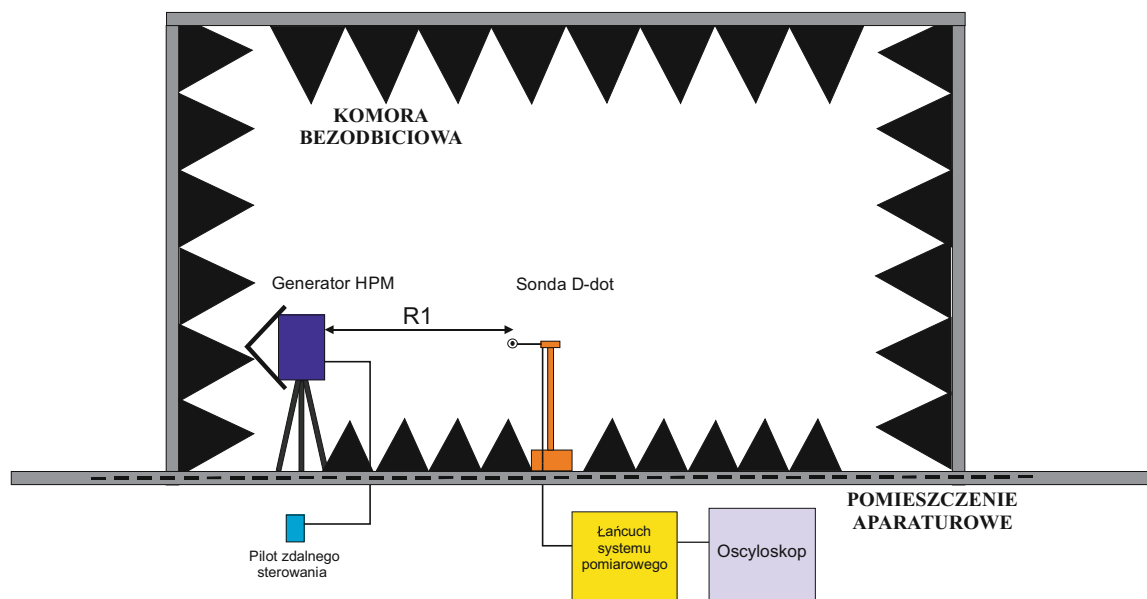
## Metrologia impulsów HPEM, HPM

Przykładowy impuls HPM oraz jego widmo przedstawiono na rys.1.



**Rys. 1.** Impuls HPM z generatora Marksa; a) natężenie pola elektrycznego w czasie, b) widmo składowych harmonicznych w funkcji częstotliwości

Wobec potencjalnego zagrożenia impulsami HPEM, HPM istnieje konieczność badania skutków oddziaływania tego promieniowania na elektronikę urządzeń oraz systemy łączności, jak również budowanie technicznych środków ochrony i zabezpieczenia tych urządzeń przed niszczącą mocą impulsów HPEM, HPM. Ważnym elementem w tych działaniach jest zbudowanie miernika przeznaczonego do pomiarów impulsowego promieniowania HPEM, HPM. Nie ma możliwości wykorzystania ani dostosowania istniejących na rynku mierników do celów pomiarów impulsów HPEM, HPM ze względu na niezwykle krótki czas trwania mierzonych impulsów oraz fakt, że przyrządy te zostałyby natychmiast zniszczone w tak silnych polach elektromagnetycznych. Urządzenia laboratoryjne bazują na prostych zestawach zbudowanych w oparciu o stacjonarne oscyloskopy, zestawy tłumików i proste komputerowe urządzenia do określania podstawowych parametrów i charakterystyk mierzonych sygnałów. Znajdują się one w oddzielnym, ekranowanym pomieszczeniu laboratoryjnym, rys. 2.



Rys. 2. Pomiary laboratoryjne sygnałów HPEM, HPM

Brak jest jakichkolwiek urządzeń pomiarowych do badań sygnałów HPEM, HPM w warunkach środowiskowych. Powinny one umożliwiać pracę w reżimie znacznie ostrzejszym niż urządzenia laboratoryjne. Nie chodzi tu wyłącznie o temperaturę, również ujemną, wilgotność, również deszcz. Dużym wyzwaniem staje się ochrona komponentów elektronicznych miernika przed zniszczeniem w impulsowym polu EM. Aby sprostać tak trudnym zadaniom należy przede wszystkim rozdzielić bloki funkcjonalne miernika i połączyć je bezpiecznymi łączami, które umożliwią ich niezależną, oddaloną od siebie w terenie pracę, rys. 3.



Rys. 3. Blokowy schemat polowego miernika sygnałów elektromagnetycznych

Zespół detekcji, to przede wszystkim szerokopasmowe sondy pomiarowe, najczęściej stosowane w praktyce. Niestety, wybrana metoda ma wiele wad. Spowodowane są one przede wszystkim ogromną różnicą w poziomie sygnału detekowanego przez antenę odbiorczą z poziomem sygnału, który, w bezpieczny sposób, może zostać podany na układy elektroniczne, w celu jego przetworzenia. Z tego powodu za detektorem antenowym ciągnie się wianuszek układów (tłumiki, ogranicznik mocy), które

mają za zadania stłumić sygnał i dopasować jego wartość do takiej, która może być przetwarzana przez układy cyfrowe miernika. Ostatnim z bloków funkcyjnych miernika jest zespół przetwarzania sygnałów, który z racji dużej ilości urządzeń i podzespołów elektronicznych musi zostać oddalony od destrukcyjnego działania impulsowych pól EM.

Prezentowana metoda oraz, bazujący na niej, polowy miernik impulsowych pól EM dużej mocy powstały w wyniku realizacji zadania PSOB/16-062/2014/WAT/P w ramach projektu DOB-1-3/1/PS/2014.

#### **Literatura**

- [1] Sprawozdania z realizacji zadania PSOB/16-062/2014/WAT/P w ramach projektu DOB-1-3/1/PS/2014, ISE WEL WAT, 2017-2019

# METODYKA WYZNACZANIA ZUŻYCIA ENERGII W AUDYTOWANYCH INSTALACJACH OŚWIETLENIOWYCH DROGOWYCH

**Marek KURKOWSKI, Monika WEŹGOWIEC, Tomasz POPŁAWSKI**

Politechnika Częstochowska

Oświetlenie uliczne w Polsce według różnych szacunków pochłania od 1500 do 2500 GWh i odpowiada za część emisji gazów cieplarnianych pochodzących z wytwarzania energii elektrycznej. Również na podstawie szacunków ocenia się, iż eksploatowanych jest około 3,3 mln opraw drogowych i ulicznych.

Infrastruktura oświetleniowa w polskich gminach najczęściej (70%) jest własnością zakładów energetycznych lub ich spółek zależnych. Zgodnie z ustawą Prawo Energetyczne, finansowanie oświetlenia ulic, placów i dróg znajdujących się na terenie gminy, należy do zadań samorządu. W sytuacji jednak, gdy gmina nie jest właścicielem infrastruktury oświetleniowej, nie może w nią inwestować ponieważ majątek ten nie jest jej własnością. Z drugiej strony zakłady energetyczne nie są zainteresowane modernizowaniem oświetlenia, ponieważ korzyści, w postaci zmniejszenia zużycia energii elektrycznej, byłyby wyłącznie po stronie gmin.

W prawidłowo zorganizowanym procesie zarządzania infrastrukturą, w tym przygotowania inwestycji, analiza stanu faktycznego, stanowi istotny element potwierdzający lub kwestionujący dotychczasowe kierunki działań jak również pokazuje, w jakim stanie znajduje się badany obiekt po latach eksploatacji. Analiza pokazuje też, jak dziś oceniamy poczynione inwestycje oświetleniowe, które były realizowane w innym otoczeniu prawnym i normatywnym. Zbiorczy obiekt oświetleniowy, jakim jest zespół opraw oświetleniowych ulicznych wraz z ich sterowaniem, budowany był w przeszłości w zgodności z różnymi normami oświetleniowymi. Od 2004 roku, obowiązuje w Polsce europejska norma oświetleniowa PN-EN 13201. Audyt ma na celu przebadanie systemu i określenie możliwości zmniejszenia kosztów eksploatacji oraz wskazanie zasadności (lub – braku zasadności) podjęcia inwestycji usprawniającej system odbiorników energii, jak również efektywnego sposobu jej realizacji. Analiza jest opracowywana właśnie na tym etapie: nie istnieje jeszcze projekt techniczny, szczegółowy kosztorys, ani pełny program funkcjonalno-użytkowy dotyczący całości ewentualnej inwestycji. Istnieje jedynie ogólnie zarysowana potrzeba ograniczenia kosztów eksploatacji oświetlenia ulicznego i drogowego oraz wstępne założenia sformułowane przez Zlecającego. Zamawiający ma pełną świadomość, że może znacząco zmniejszyć zużycie energii poprzez zmniejszenie mocy odbiorników. Tak też realizowane są nowe inwestycje modernizacyjne oświetlenia ulic. Efektem nadmiernego ograniczenia mocy opraw może być jednak, niezamierzona sprzeczność z normą oświetleniową, czyli oświetlenie będzie niebezpieczne dla użytkowników dróg. Ten aspekt również podlega Analizie, pomimo, że wykracza poza zakres zamówienia.

Autorzy Analizy przyjęli pewne założenia, dotyczące ewentualnej inwestycji w jeden spójny program funkcjonalno-użytkowy i następnie rekomendowali je Zamawiającemu. Opracowywanie Analizy na tym etapie pozwala przeprowadzić skomplikowaną inwestycję, w sprawny sposób, w stosunkowo krótkim czasie, przy znacznym ograniczeniu kosztów w porównaniu ze sposobem realizacji inwestycji częściami. Pozwala też znacząco zredukować koszty eksploatacji systemu.

Celem opracowania w szczególności jest:

1. Zdiagnozowanie stanu, w jakim znajduje się system oświetleniowy, przebudowywany, rozbudowywany i modernizowany częściowo z zastosowaniem różnych rozwiązań technicznych;
2. Zbadanie możliwości ograniczenia kosztów eksploatacji systemu oświetleniowego, w tym korzyści uzyskanych poprzez zmianę dostawcy energii elektrycznej;
3. Zbadanie zgodności oświetlenia drogowego z Polską Normą przenoszącą normę europejską PN-EN 13201;
4. Potwierdzenie lub zakwestionowanie społeczno-gospodarczej sensu realizacji projektu według koncepcyjnych założeń Zamawiającego (a więc — odpowiedź na pytanie: czy taki projekt jest sensowny i potrzebny?);
5. Potwierdzenie lub zakwestionowanie instytucjonalnych, prawnych, technologicznych i ekonomicznych założeń koncepcyjnych Zamawiającego (a więc — odpowiedź na pytanie: czy taki projekt jest możliwy do zrealizowania?);
6. Przekazanie Zamawiającemu zaleceń i wskazań, co do: - zorganizowania systemu kontrolingu finansowego kosztów utrzymania oświetlenia, - zorganizowania systemu zarządzania infrastrukturą odbiorników energii, - wyboru optymalnego rozwiązania technicznego, podnoszącego znacząco sprawność systemu, - warunków zamawiania projektów technicznych i wykonawstwa, - sposobu uwzględnienia, w projekcie technicznym i wykonawstwie, specyficznych wymogów dotyczących sposobów organizowania efektywnego oświetlenia dróg, ulic oraz obiektów kubaturowych;
7. Analizy możliwych sposobów finansowania inwestycji;
8. Przekazanie Zamawiającemu ewentualnych ostrzeżeń, co do wykrytych w toku analizy potencjalnych przeszkód w realizacji celu, które mogłyby zakłócić lub przerwać proces zmniejszania kosztów eksploatacji urządzeń energetycznych.

#### Literatura

- [1] Pracki P., Jägerbrand A.: Application of road lighting energy efficiency evaluation system in practice. Proceedings of the CIE Centenary Conference: Towards a New Century of Light, CIE, Paris, 2013.
- [2] Zajkowski M.: Program SOWA modernizacji oświetlenia drogowego w gminie, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 91 NR 7/2015, s. 85 – 88.
- [3] Kurkowski M.: Analiza parametrów oświetleniowych i elektrycznych w instalacjach drogowych z oprawami wyładowczymi i regulatorami napięcia, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 94 NR 2/2018, s. 134 – 137.
- [4] Kurkowski M., Popławski T.: Innowacyjne rozwiązania w sterowaniu oświetleniem ulicznym w gminie, Rozdział w monografii *Możliwości i horyzonty eko-innowacyjności. Procesy zwiększające efektywność energetyczną w świetle ekorozwoju* (red.) Całus Dariusz, Flaszka Janusz, Szczepański Artur, Michalski Artur, Luft Radosław, Instytut Ochrony Środowiska – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2017, s. 35-45.
- [5] Kurkowski M.: Oprawy ze źródłami wyładowczymi i LED – poprawność rozwiązań dla dróg modernizowanych – praktyki inwestycyjne i doświadczenia eksploatacyjne, materiały Konferencji Naukowo – Technicznej *Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia PTPIRE Jachranka*, 19-20 kwietnia 2017 r.
- [6] Kurkowski M.: Audyty i modernizacje instalacji oświetleniowych a redukcja CO<sub>2</sub>, materiały Konferencji Naukowo – Technicznej *Oświetlenie dróg i miejsc publicznych – sposoby zarządzania systemami oświetlenia PTPIRE Wisła* 11-12 kwietnia 2018 r.
- [7] Matkowski T., Kurkowski M.: Technologia LED – uwarunkowania sprzętowe – istotne cechy opraw drogowych LED, *Oświetlenie LED* 4/2018 (32) s.14 – 17.
- [8] Weźgowiec M., Popławski T., Kurkowski M.: Prognozowanie zużycia energii na cele oświetleniowe w latach 2018-2030 w aspekcie uchwały Sieci Polskich Miast Progresywnych *Rynek Energii* nr 1 (140) 2019 R. , s. 20 – 24.
- [9] Weźgowiec M., Popławski T., Kurkowski M.: Analiza stopnia wymiany opraw ze źródłami wyładowczymi na LED w gminach uczestniczących w projekcie GSE 2017 *Rynek Energii* nr 2 (141) 2019 R. , s. 41 – 46.

- [10] Kurkowski M.: Sterowanie w instalacjach oświetleniowych LED a koszty energii elektrycznej, Seminarium Inteligentne systemy oświetleniowe – technologie, sterowanie, oprawy, zasilanie, materiały Targów Światło Elektrotechnika Warszawa 13 III - 15 III 2019r.
- [11] Kurkowski M.: Sterowanie w instalacjach oświetleniowych LED a koszty energii elektrycznej – część 1, Oświetlenie LED 2/2019 (36) s.14 – 17.
- [12] Kurkowski M.: Źródła, moduły i oprawy oświetleniowe LED w aspekcie wymagań normatywnych. Zagadnienia wybrane, Podręcznik akademicki, Instytut Naukowo-Wydawniczy Spatium, Radom 2019 r., s.137
- [13] Kurkowski M., Popławski T., Mirowski J., Weźgowiec M.: Wyniki ekspertyz odbiorników energii elektrycznej (w tym oświetleniowych) oraz audytów instalacji elektrycznych, *materiały niepublikowane*
- [14] Rozporządzenie ministra energii z dnia 5 października 2017 r. w sprawie szczegółowego zakresu i sposobu sporządzania audytu efektywności energetycznej oraz metod obliczania oszczędności energii Dz.U. 2017 poz. 1912

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.



# MODEL I SYMULACJA ZMIAN TEMPERATURY W ZBIORNIKU BUFOROWYM WSPÓŁPRACUJĄCYM Z SYSTEMEM GRZEW CZYM SZKLARNI

Sławomir KURPASKA, Arkadiusz RELIGA, Michał KOZDĘBA

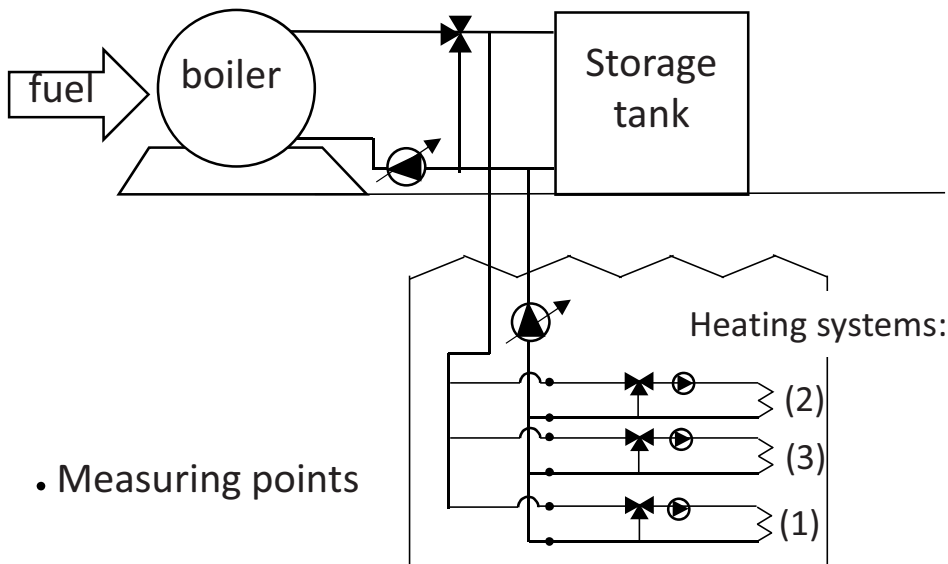
Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

## Wstęp

Stosowanie akumulatorów ciepła w szklarnictwie polskim jest uznawane jako inwestycja nowatorska. Konieczność stosowania wynika z kilku powodów: uregulowań prawnych (Dyrektywa PE), zapewnienia optymalnej sprawności kotła (a tym samym zmniejszenie zużycia paliwa) oraz, poprzez zmniejszoną emisję do atmosfery substancji szkodliwych, ochrony środowiska. W pracy, na bazie równań bilansu ciepła sformułowano równanie różniczkowe, w którym jako zmienne decyzyjne uwzględniono: pojemność (powierzchnię wymiany ciepła) zbiornika buforowego, strumień masy wody zasilającej zbiornik i strumień zasilający system grzewczy obiektu, temperaturę wody w zbiorniku, temperaturę otoczenia oraz wymaganą temperaturę wewnątrz obiektu. Równanie rozwiązano numerycznie, w którym przy założonym kroku czasowym znaleziona została temperatura wody w zbiorniku buforowym.

## Cel zakres i metodyka badań

Badania weryfikacyjne przeprowadzono w rzeczywistym obiekcie szklarniowym o powierzchni ok. 3.5 ha, w którym system grzewczy wyposażono w zbiornik o pojemności 1000m<sup>3</sup>. Schemat stanowiska pomiarowego zobrazowano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat stanowiska pomiarowego

Ponieważ, nie było możliwości określenia strumienia wody zatłaczanej do zbiornika buforowego oraz systemów grzewczych, do określenia tych wartości zastosowano metodę odwrotną. Polegała ona na wyselekcjonowaniu takich stanów pracy instalacji, w których nie występowała praca kotła oraz kiedy nie było rozbioru ciepła przez system grzewczy.

### **Wyniki**

Na tej podstawie, bazując na podstawowych zależnościach bilansowych określono niezbędne szukane wartości strumienia masy. Po wykonaniu weryfikacji modelu matematycznego dokonano badań systemu z wykorzystaniem symulacji komputerowej. Na bazie uzyskanych wyników, oprócz określenia wpływu parametrów na efekty pracy systemu, można zaproponować rekomendowaną pojemność zbiornika buforowego dla szklarni o założonych z góry powierzchni i wymaganej temperatury wewnątrz obiektu.

# LEWITACJA MAGNETYCZNA W PRZEMYSŁOWYCH SYSTEMACH TRANSPORTOWYCH

Marek LIS<sup>1</sup>, Krzysztof SZEWCZYK<sup>1</sup>, Tomasz WALASEK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

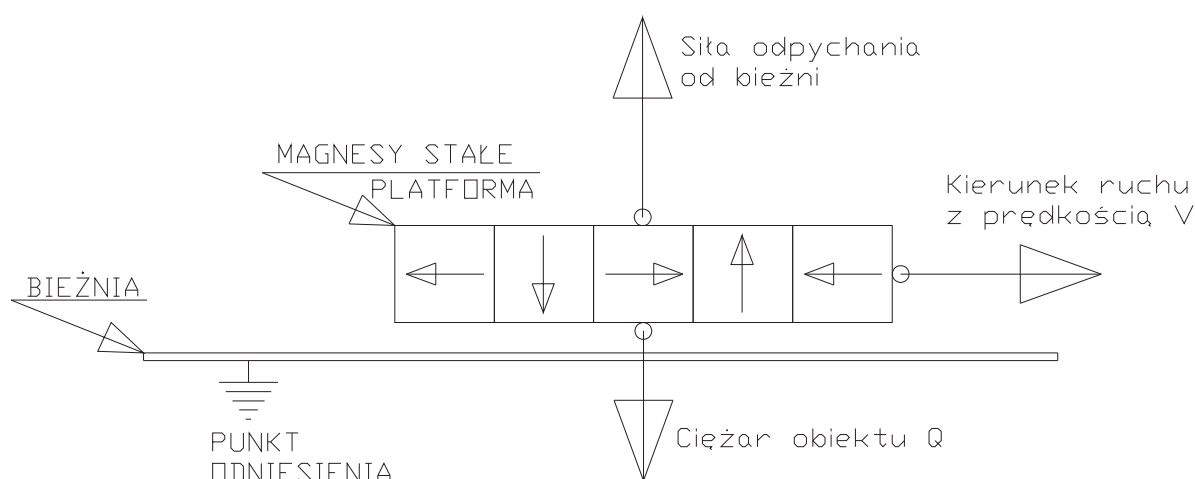
<sup>2</sup>Politechnika Częstochowska Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki

## WSTĘP

Praca przedstawia komputerową symulację układu magnesów stałych rozmieszczonych w macierzy Halbacha, w zastosowaniu do konstrukcji urządzenia ułatwiającego przesuwaniu ciężkich elementów na linii produkcyjnej. Eliminacja oddziaływania grawitacji oraz sił tarcia, przy jednoczesnej koncentracji pola magnesów stałych w określonych kierunkach, pozwala na zwiększenie intensywności ich oddziaływania na urządzenie transportowe tego typu. Rozwiązanie typu „maglev” przy zastosowaniu w poziomym transporcie jest ogólnie znane. Rozwiązanie tego typu przy zastosowaniu transportu ciężkich elementów bez zmiany ich energii potencjalnej w warunkach przemysłowych pozwala na zmniejszenie wysiłku pracownika i jednocześnie oszczędzanie energii.

## ZAŁOŻENIA PROJEKTU

Do analizy projektu wzięto pod uwagę konstrukcję przedstawioną na rys. 1. Bieżnia wykonana jest z materiału diamagnetycznego o dużej przewodności (takiego jak miedź czy aluminium). Nie jest ona materiałem konstrukcyjnym, a jedynie materiałem o jak najniższej rezystancji. Przeznaczenie bieżni polega na wygenerowaniu jak największej wartości prądów wirowych, których powstałe pole magnetyczne będzie odpychać pole magnetyczne magnesów stałych poruszających się ponad bieżnią. Prądy wirowe powstałe w bieżni pojawiają się pod wpływem poruszających się poziomo magnesów stałych, stanowiących platformę nośną urządzenia.



**Rys. 1.** Schemat działania sił działających na platformę nośną złożoną z magnesów stałych w macierzy Halbacha

Celem pracy jest porównanie sił unoszenia (odpychania od bieżni) urządzenia w stosunku do ciężaru obiektu. Analiza będzie obejmowała powyższe porównanie w stosunku do wielkości szczeliny powstałej pomiędzy magnesami stałymi stanowiącymi w modelu platformę nośną urządzenia, a bieżnią przewodzącą. Odległość jest istotna ze względu na założenia projektu, gdzie przyjęto brak tarcia w poruszającym się obiekcie. Drugim istotnym celem jest sprawdzenie zależności wielkości sił odpychających od prędkości poruszania się platformy  $V$ . Przedstawione wyniki będą założeniami do projektu 3D platformy z wirującymi magnesami pracującymi w układzie macierzy Halbacha. Autorzy planują publikację w j. angielskim.

#### LITERATURA:

- [1] Maxwell 15.0 application User's Guide
- [2] Ansys 14.0 application User's Guide
- [3] WorkBench 14 application User's Guide
- [4] T. Machula, *Opracowanie metody ciągłej analizy stanu technicznego taśm przenośnikowych z linkami stalowymi*, Doctoral dissertation (AGH Kraków, 2011)
- [5] R. Zimroz, R. Błazej, P. Stefaniak, A. Wyłomańska, J. Obuchowski, M. Hardygóra, *Fundamental Problems of Conveyor Transport* **21**(2), 99–109 (2014)

#### Internet :

- [1]. <https://www.youtube.com/watch?v=pCON4zfMzjU>

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# IMPLEMENTATION AND TESTS OF SELECTED OBSERVER SYSTEMS FOR SENSORLESS CONTROL OF A PMSM

Krzysztof ŁUKSZA<sup>1</sup>, Justas DILYS<sup>2</sup>, Jarosław GUZIŃSKI<sup>3</sup>,  
Marcin MORAWIEC<sup>4</sup>, Andrzej JĄDERKO<sup>5</sup>, Marek GAŁA<sup>6</sup>

<sup>1, 3, 4</sup> Politechnika Gdańska

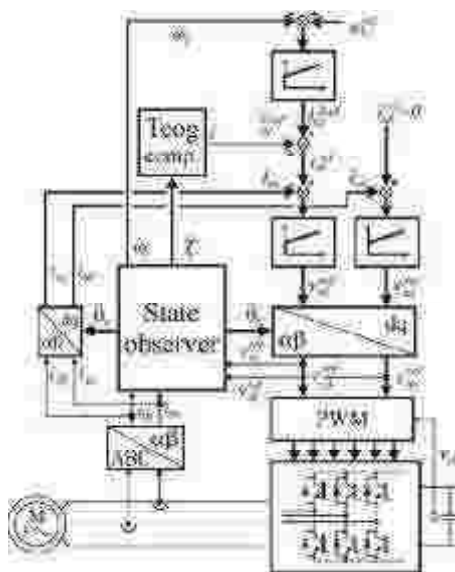
<sup>2</sup> Vilnius Gediminas Technical University, Wilno

<sup>5, 6</sup> Politechnika Częstochowska

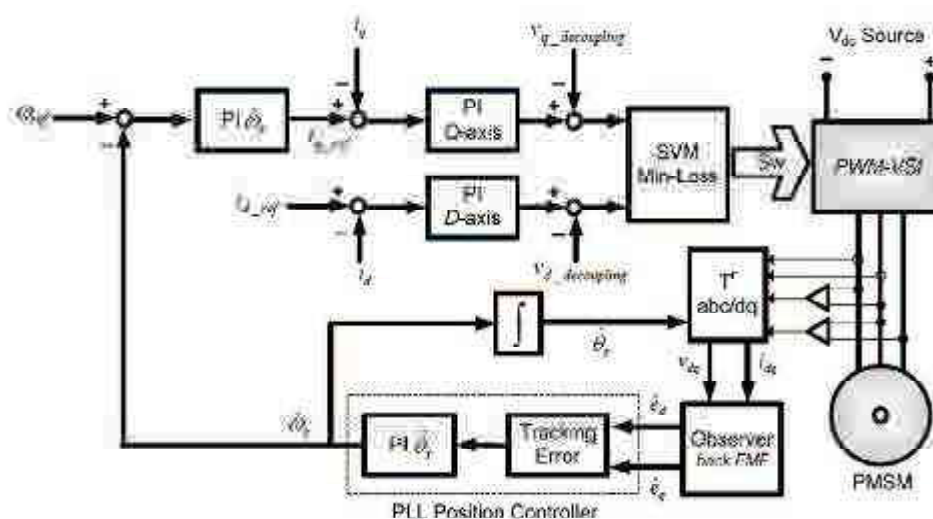
Silniki synchroniczne z magnesami trwałymi PMSM (ang. *Permanent Magnet Synchronous Motor*) są stosowane w wielu przemysłowych układach napędowych, zwłaszcza tych o wysokich wymaganiach napędowych, dotyczących między innymi precyzyjnej regulacji prędkości i dużej dynamiki pracy. Osiągnięcie takich parametrów jest możliwe przy zastosowaniu metody sterowania maksymalizującej stosunek momentu do prądu silnika. Jedną z takich metod jest sterowanie polowo-zorientowane [1]. Aby można ją było zastosować konieczna jest jednak znajomość prędkości i położenia wirnika. Można to osiągnąć zarówno poprzez zastosowanie czujników prędkości i położenia, jak i metodami bezczujnikowymi, m.in. z wykorzystaniem obserwatorów stanu [2].

Istnieje wiele rozwiązań sterowania bezczujnikowego, opartego na zastosowaniu obserwatorów stanu. W artykule autorzy porównują 3 z nich: obserwator prędkości i położenia [3], zmodyfikowaną wersję obserwatora [4] opartą na nieadaptacyjnej estymacji prędkości oraz estymator wykorzystujący pętlę synchronizacji fazy (ang. *Phase Locked Loop, PLL*). Schematy blokowe przedstawiające wybrane metody sterowania znajdują się na rys. 1 i 2.

Podczas badań laboratoryjnych autorzy wykonali szereg testów działania poszczególnych metod sterowania, zarówno w stanie ustalonym, jak i stanach przejściowych. Zarejestrowano przebiegi estymowanych parametrów (prędkości i położenia kąтового wirnika). Jako sygnał odniesienia wykorzystano przebiegi zarejestrowane przez czujnik położenia – enkoder.



Rys. 1. Układ regulacji polowo zorientowanej silnikiem PMSM [5]



**Rys. 2.** Bezczujnikowy układ sterowania połowo-zorientowanego silnikiem PMSM z wykorzystaniem estymatora PLL [6]

## Literatura

- [1] Zawirski K., *Sterowanie silnikiem synchronicznym o magnesach trwałych*, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań 2005
- [2] Morawiec M., Krzemiński Z., Lewicki A., *Sterowanie silnikiem o magnesach trwałych PMSM z obserwatorem prędkości kątowej wirnika*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 85, no. 8, pp. 48-51, 2009
- [3] Krzemiński Z., *Obserwatory prędkości dla bezczujnikowego sterowania maszynami prądu przemiennego*, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 90, no. 5, pp. 1-7, 2014
- [4] M. Morawiec, K. Blecharz and A. Lewicki, *Sensorless Rotor Position Estimation of Doubly Fed Induction Generator Based on Backstepping Technique*, IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 67, no. 7, pp. 5889-5899, July 2020
- [5] Guziński J., Łuksza K., Morawiec M., Strankowski P., Krzemiński Z., *Bezczujnikowe sterowanie wolnoobrotowym silnikiem PMSM z kompensacją momentu zaczepowego*. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej. no. 60, pp. 27-31, 2018
- [6] R. P. Burgos et al., *Design and Evaluation of a PLL-Based Position Controller for Sensorless Vector Control of Permanent-Magnet Synchronous Machines*, IECON 2006 - 32nd Annual Conference on IEEE Industrial Electronics, pp. 5081-5086, Paris, 2006

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# EKSPERYMENTALNA METODA WYZNACZANIA TEMPERATURY TAŚMY NADPRZEWODNIKOWEJ W STANIE REZYSTYWNYM

Michał MAJKA, Janusz KOZAK, Sławomir KOZAK

Politechnika Lubelska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki

## Wstęp

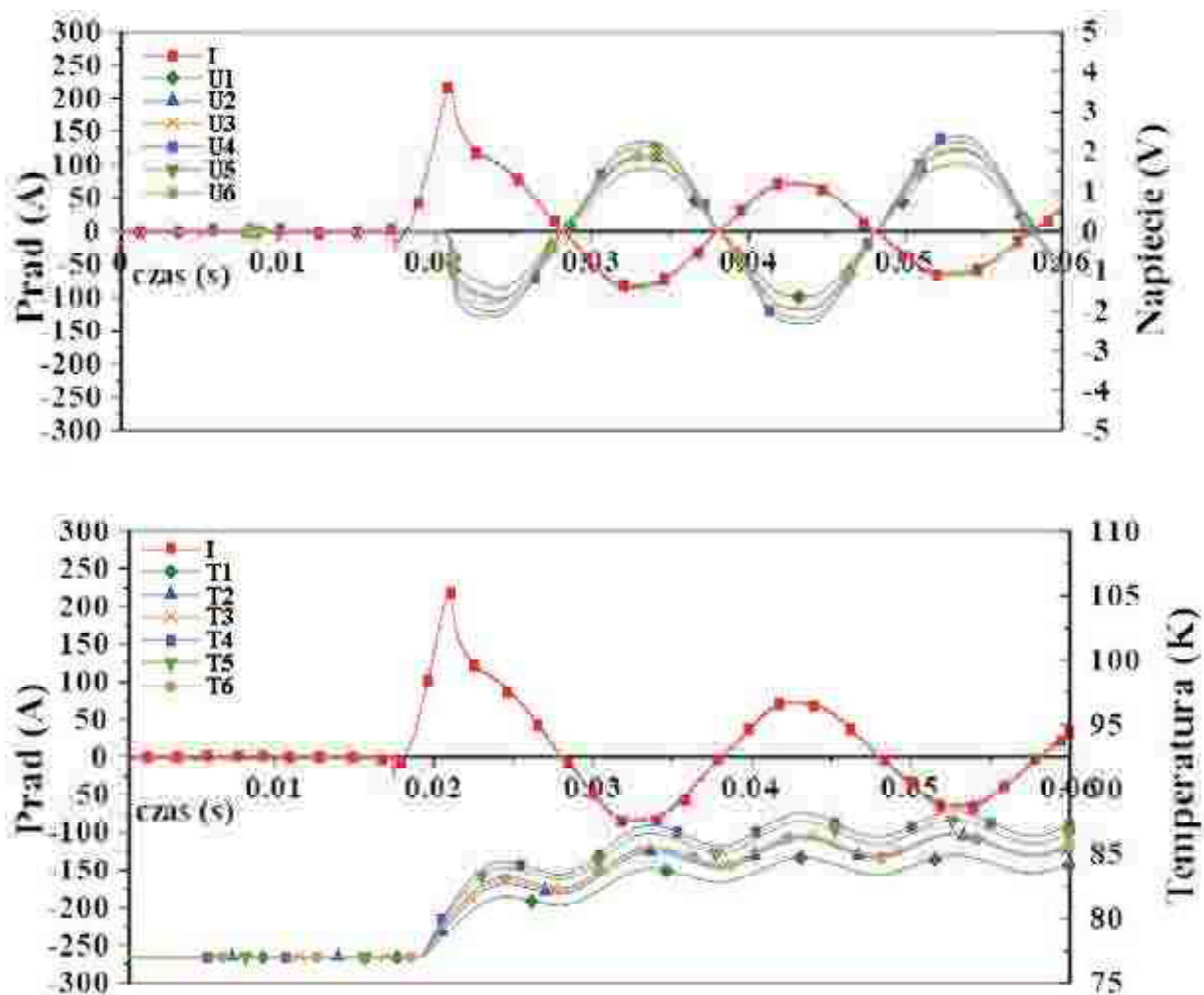
Materiały nadprzewodnikowe wykazują całkowity zanik rezystywności w warunkach, gdy punkt ich pracy określony przez temperaturę, gęstość prądu i gęstość strumienia magnetycznego leży poniżej powierzchni krytycznej charakterystycznej dla każdego z nadprzewodników. Przekroczenie powierzchni krytycznej powoduje natychmiastowe przejście nadprzewodnika ze stanu nadprzewodzenia do stanu rezystywnego (ang. quench). Przebieg procesu przejściowego zależy od budowy taśmy nadprzewodnikowej i nie jest jednoczesny na całej długości taśmy. Przekroczenie jednego z parametrów krytycznych powoduje lokalne przejście nadprzewodnika do stanu rezystywnego, czego następstwem jest powstanie strefy rezystywnej i lokalny wzrost temperatury. Silne nagrzewanie się taśmy nadprzewodnikowej na niewielkim obszarze może spowodować jej miejscowe termiczne zniszczenie. Badania taśm nadprzewodnikowych w stanie przejściowym są niezbędne do pełniejszego zrozumienia dynamiki zmian cieplnych zachodzących w taśmach i umożliwią łatwiejsze projektowanie urządzeń nadprzewodnikowych pracujących w stanie nadprzewodzenia.

## Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne przeprowadzono na próbce taśmy nadprzewodnikowej HTS 2G typu SF4050 firmy SuperPower. Układ pomiarowy składał się z systemu zasilania, uchwytu z badaną taśmą nadprzewodnikową, systemu pomiarowego oraz akwizycji danych pomiarowych. Do sterowania układem pomiarowym służy komputer wyposażony w oprogramowanie LabView i kartę pomiarową. Do badanej taśmy nadprzewodnikowej o długości 10 cm zamontowanej do uchwytu pomiarowego przylutowano miedziane końcówki i siedem wyprowadzeń napięciowych podłączonych do karty pomiarowej. Na każdym odcinku taśmy nadprzewodnikowej zostały wykonane pomiary napięcia. Pomiar prądu w obwodzie przeprowadzono przy użyciu bocznika 250 A 60 mV. Pomiary zostały wykonane po schłodzeniu taśmy w kąpeli ciekłego azotu do temperatury 77,4 K w kriostacie pod ciśnieniem atmosferycznym. Testy przeprowadzono dla różnych wartości prądu przekraczających prąd krytyczny  $I_c$  badanej taśmy nadprzewodnikowej.

## Metoda wyznaczenia temperatury taśmy HTS

W praktyce przeprowadzenie dokładnych, bezpośrednich pomiarów temperatury taśm nadprzewodnikowych chłodzonych w kąpeli ciekłego azotu przy użyciu czujników temperatury jest niemożliwe. Wyniki przeprowadzonych pomiarów obarczone są błędami wynikającymi między innymi ze zbyt dużych rozmiarów czujników w stosunku do grubości taśm nadprzewodnikowych i ich pojemności cieplnych. Alternatywą dla czujników temperatury są pomiary pośrednie temperatury poprzez pomiar prądu i napięcia na określonym odcinku taśmy nadprzewodnikowej. Na podstawie otrzymanych wartości można określić uśrednioną temperaturę taśmy nadprzewodnikowej. W artykule przedstawiono metodę wyznaczenia temperatury taśmy nadprzewodnikowej przy użyciu skryptu w programie NI Diadem. Przykładowe zarejestrowane przebiegi prądu i napięcia oraz obliczoną wartość temperatury taśmy nadprzewodnikowej na poszczególnych odcinkach taśmy nadprzewodnikowej przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. Przykładowe przebiegi prądu, napięcia i temperatury na poszczególnych odcinkach taśmy SF4050

#### Literatura

- [1] Majka M.: Bezrdzeniowe nadprzewodnikowe ograniczniki prądu zwarciovego typu indukcyjnego. Prace Instytutu Elektrotechniki, zeszyt 279, Warszawa, 2018
- [2] Majka M., Kozak J., Kozak S.: HTS Tapes Selection for Superconducting Current Limiters, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 27, no. 4, pp. 1–5, Jun. 2017
- [3] Czerwinski D., Jaroszynski L., Majka M., Kozak J., Charnas B.: Comparison of Overcurrent Responses of 2G HTS Tapes, IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 26, no. 3, pp. 1–4, Apr. 2016



# AN ANALYSIS ON INDUCTION MOTOR RELIABILITY AND LIFETIME ESTIMATION METHODS

Dmytro MAMCHUR, Serhii HUSACH, Mykhaylo ZAGIRNYAK

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

## Introduction

The work proposes an analysis on methods for induction motor diagnostics and reliability evaluation. Another important issue is forecasting of motor's lifetime basing on its online operation parameters. Effective diagnosis allows one to prevent serious damages, unplanned operation breakage and significantly reduce operational expenses. Methods and equations that have been analyzed in this paper describe reliability of induction motor components with highest fault rate. Automatic system that analyzes data collected from sensors may seriously simplify reliability evaluation process. Fuzzy logic system with a certain number of rules for these induction motor parameters evaluation is an effective solution.

## Theoretical theses

Induction motors (IM) are widely used mostly because of their proved reliability and construction simplicity. However, inappropriate operation condition, deviations in power supply system or construction defects may lead to untimely faults. Electric motor reliability may be evaluated by its ability to keep declared parameters during operation in certain mode. Reliability term considers total lifetime, before breakings operation, possibility of repair [1]. Remaining lifetime estimation is based on the evaluation of separate components reliability. For such analysis it may be used simulation model that describes processes in all motor's components. However, taking into account multi-factor influence on the motor parameters during its operation in real world, the development of a proper model is a hard task. Faults analysis let us to define the most common problems and find out components that needs more attention during analysis.

Thus, it occurs a task to develop methods and media, which allow us evaluate motor current conditions online during it operation, detect possible fault occurrence, and recalculate its remaining lifetime to faulty condition, and also suggest operators the most effective operation mode or its components repairing.

## Research results

According to analyzed researches, most of induction motor breakings are related to stator windings and bearings faults. Induction motor reliability model can be equated to reliability models of these components, which allows one to simplify simulation and concentrating on main fault reasons.

There are many methods for induction motor condition analysis, such as [1]: motor current/power signature analysis; temperature measurements; vibration analysis; current spectral analysis, etc.

These methods allow us to obtain information related to current condition of IM components, but for reliability estimation, they must be processed. According to the analyzed information, methods may be divided into three groups:

- extrapolation methods, which used for system with full known information about object and describe regularity in parameter's changes;
  - expert evaluation, which are used for systems with lack of information about current condition;
  - simulation methods, which might be used for objects with known parameters and their operation laws.
- Induction motors failures can be separated basing on the root reasons, location, consequences and duration. Some faults are rapid and cannot be prevented, but for slow breakings may it be applied diagnosis methods.

Induction motor parameters definition is necessary for the following information processing and lifetime estimation. The most convenient informative source for analysis considered the current signal. It meets all the requirements [2]: relevant and informative; accessible and may be used for online diagnosis; diagnosis methods based on current signal are reliable.

Based on analyzed researches, it was concluded, that most of induction motors breakings are related to windings faults. Insulation is sensitive for physical or chemical influence that is different from rated operation mode. Winding temperature is an important factor that needs supervision because it can seriously reduce induction motor lifetime and lead to untimely breaking. Overheating occurs when rotor is decelerated or blocked; a deviation or asymmetry in power supply appears. Insulation ageing can be calculated according to its temperature or over current signals. Montziger's rule also known as the rule of «8 degrees Celsius» claim that lifetime of an induction motor reduces twice for every 8 degrees over the standard operation mode temperature [3]:

$$R_{\tau_{ov}} = R_{\tau} 2^{(\tau - \tau_{ov})/\Delta\tau} = R_{\tau} e^{-b\tau_{ov}}, \quad (1)$$

where  $R_{\tau_{ov}}$  – lifetime with overheating;  $R_{\tau}$  – lifetime with rated temperature  $\tau$  (depend on insulation class),  $\Delta\tau$  – temperature increment,  $b$  – coefficient for insulation class. This equation gives approximate remained lifetime value for induction motor.

The proper functioning of the winding insulation could be possible when all the winding components are in good condition. Fault in one coil lead to all winding breaking. It could occur when voltage in neighboring coils exceeds breakdown value.

Second most common reason for induction motor breakings is related to bearing faults. This is the main case for low power and high frequency motors. Depending on bearing type, the failure occurs due to grease ageing, cracks, heterogeneous particles, overloads. Double load increase for polling bearings reduces it lifetime for almost 10 times. One of the most important factors that determine quality of bearing exploitation is installation accuracy. Rated lifetime for rolling bearing in proper conditions is up to 20.000 hours.

Equation for metal fatigue:

$$\sigma_z = A / (N_c)^{1/m}, \quad (2)$$

where  $\sigma_z$  – strain that match fatigue limit,  $A$  – wear resistance coefficient,  $N$  – number of strain cycles,  $m$  – empirical coefficient. Thus, this equation could be used to evaluate motor lifetime depending on bearings conditions.

## Conclusions

In the paper it was provided an analysis on the methods for motor reliability evaluation and its remaining lifetime calculation. It was highlighted, that for effective equipment exploitation, it is necessary to have possibility of timely fault detection, which would help to prevent serious damage due to unexpected fault occurrence. The necessary calculations, needed for fault forecasting, could be done basing on motor's components online reliability calculations, which should be based on electrical signals measurements and evaluation. It was shown, that the current signal is on of the most informative parameters, which can be used for such analysis. Due to multifactor influence on motor's reliability, it was proposed to use fuzzy logic methods for further data processing. The analysis of combined influence of different lifetime and reliability models implemented to different motor components would allow as to predict online the most of the typical problems could occur to motor during its operation. Basing on analyzed methods used for predicting lifetime of most important induction motors component, it was proposed an algorithm for analytic system aimed to provide recommendations for possibility of motor operation under current conditions. Increasing induction motor reliability due to timely maintenance and condition monitoring lead to its proper operation and economic effectiveness.

## References

- [1] M. Zagirnyak, D. Mamchur, A. Kalinov. "A comparison of informative value of motor current and power spectra for the tasks of induction motor diagnostics", 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, PEMC 2014, 2014, pp. 540–545.
- [2] Negoita A., Schutaru Gh., Ionescu R.M. A brief review of monitoring techniques for rotating electrical machines, Bulletin of the Transilvania University of Brashov, Vol. 3 (52) Series I – 2010
- [3] Zakladnoy A. N., Zakladnoy O. A. "Methods for evaluation induction motors lifetime", Energetics and electrification, vol. 4/2010, pp. 63–67, 2010. (in Russian)

# PHYSICAL, GEOGRAPHICAL, TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF ROOFTOP PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

**Primož MAVSAR, Klemen SREDENŠEK**

Faculty of Energy Technology University of Maribor

**Bojan ŠTUMBERGER, Miralem HADŽISELIMOVIĆ**

Faculty of Energy Technology

Faculty of Electrical Engineering and Computer Science University of Maribor

**Sebastijan SEME**

Faculty of Energy Technology

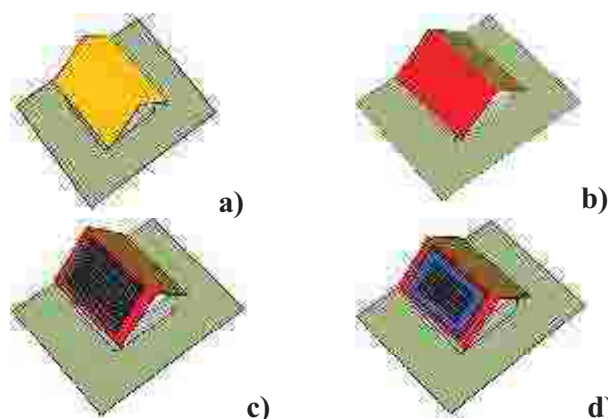
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science University of Maribor

## I. Introduction

Due to increasing population growth, energy dependency per capita is also increasing. Energy dependency and the limited amount of fossil fuels, and consequently rising prices and negative environmental impacts, are the main reasons for finding new energy sources. Renewables are practically inexhaustible potential and energy source of the future. Photovoltaic (PV) systems that convert solar energy directly into electricity are nowadays promising the most, making them an indispensable energy source for the future. Their placement in the space is conditioned primarily by the location and method of placement. As a result, more and more PV systems are being integrated into urban areas. Integration of PV systems is suitable for all economic areas, whether developed, emerging or underdeveloped. For the continued successful integration of PV systems into the grids and for the successful establishment of appropriate policies and directives, it is essential to properly evaluate the PV potential for electricity production [1].

## II. Photovoltaic potential

In order to properly understand the determination of photovoltaic potential, the basic methodology is divided into four categories [2], as shown in Figure 1, namely: (a) calculation of physical potential, (b) calculation of geographical potential (c) calculation of technical potential, and (d) calculation of economic potential.



**Figure 1:** Visualization of the methodology for analyzing the photovoltaic potential: (a) physical potential, (b) geographical potential (c) technical potential, and (d) economic potential.

Physical potential is the total amount of solar energy that reaches the observed surface, which can be called the total solar potential. Geographic potential is the spatial availability of a surface where solar potential can be obtained and can be called the available surface area for the installation of PV systems. Technical potential is the total amount of electricity produced according to the technical characteristics of the PV system (taking into account the utilization of solar modules, the utilization of inverters, ...). In addition to its technical potential, economic potential is also addressed by electricity prices on the market, investment costs and the installed power of the photovoltaic system under consideration. Thus, the economic potential refers to the amount of energy that can be expected from a photovoltaic system from the start of the sale of electricity on the market, taking into account market factors.

### III. Economic potential

The EU Directive on common rules for the internal market for electricity (2019/944) [3] now gives small and medium-sized electricity producers a new opportunity to trade in the retail electricity market. It offers small producers the opportunity to sell electricity directly to end consumers, without intermediaries. Thus, in the future, each producer will have the opportunity to sell electricity directly to the retail market. Therefore, it makes sense to present the photovoltaic potential from an economic point of view. Economic potential is the amount of electricity we can produce with a photovoltaic system. Here we take into account the initial investment costs and all other costs during the operation of the photovoltaic system. We calculated the economic potential by (1).

$$EP = \frac{PR_{el} \cdot TP^2}{PR_{PV} \cdot P_{MPP}} \quad (1)$$

where  $PR_{el}$  stands for the price of electricity (€/Wh),  $PR_{PV}$  stands for the price of the PV system (€/W),  $TP$  stands for technical potential (Wh), and  $P_{MPP}$  stands for the installed power of the PV system (W).

The return on electricity sales has so far been regarded as a constant value or price. The paper considers the changes of electricity prices on a daily and monthly basis. The purpose of the paper is to show which configuration (orientation, slope, size) of the PV system is the most appropriate for electricity production, when the price of electricity is highest on the market. Therefore, the investment in the PV system will be repaid sooner and the electricity produced will generate greater profits.

### IV. Results

The paper compares physical, geographical, technical and economic potential. The results showed that in addition to the technical potential - configuration (slope, orientation, size), the economic potential, which represent the aspect of installation of PV system must also be considered for optimal calculation. Thus, in the optimal configuration of the PV system, it should be noted that the investment in the PV system will be repaid as soon as possible and that the generated electricity will start to bring profit to the investor through the sale on the market. Additional results will be presented in full paper.

### REFERENCES

- [1] F. Dincer, "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy," *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:713-20.
- [2] P. Mavsar, K. Sredenšek, B. Stumberger, M. Hadžiselimović, S. Seme, "Simplified Method for Analyzing the Availability of Rooftop Photovoltaic Potential," *Energies* 2019, 12, 4233.
- [3] Directive (EU) 2019/944 of the European Parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (Text with EEA relevance.). Available online <https://op.europa.eu/> (accessed on 8 April 2020)

# WYMAGANIA KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ STACJI ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Paweł A. MAZUREK

Politechnika Lubelska

## Wstęp

Obecnie na całym świecie rośnie zapotrzebowanie na dekarbonizację i elektryfikację sieci transportowej. To podstawa dla rozwoju pojazdów elektrycznych i technologii pokrewnych czyli do elektromobilności. Niestety rozwój elektromobilności stanowi jednocześnie wyzwanie dla krajowego systemu elektroenergetycznego [1].

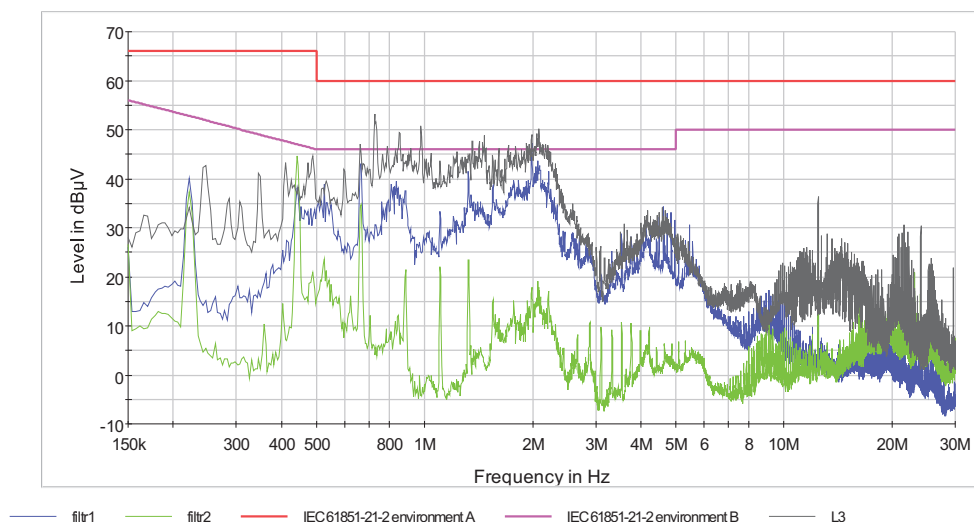
Ministerstwo Energii wdrożyło Ustawę o elektromobilności i paliwach alternatywnych [2]. Ustawa obowiązuje od lutego 2018 roku i zapewnia innowacyjne podejście do alternatywnych środków transportu i źródeł energii. Ustawa narzuca m.in: zasady rozwoju i funkcjonowania infrastruktury służącej do wykorzystania paliw alternatywnych w transporcie, w tym wymagania techniczne, jakie ma spełniać ta infrastruktura; obowiązki podmiotów publicznych w zakresie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych; obowiązki informacyjne w zakresie paliw alternatywnych; warunki funkcjonowania stref czystego transportu; krajowe ramy polityki rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych oraz sposób ich realizacji. Ponadto definiuje usługę ładowania samochodów elektrycznych, co skutkuje zniesieniem obowiązku posiadania koncesji i na sprzedaż i obrót energią elektryczną. Ustawa definiuje także nowe pojęcia – rolę: operatora stacji ładowania i dostawcę usługi. Operator odpowiada za wszystkie aspekty sprzętowe stacji ładowania, a dostawca za usługi realizowane na tej stacji bez konieczności podpisywania umowy. Uzupełnieniem do Ustawy o elektromobilności i paliwach alternatywnych jest obowiązujące od lipca 2019 roku Rozporządzenie w sprawie wymagań technicznych dla stacji i punktów ładowania [3]. Dokument określa wymagania techniczne dotyczące bezpieczeństwa eksploatacji, naprawy i modernizacji stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego.

Tematyka badań pojazdów, instalacji i wyposażenia elektronicznego oraz elektrycznego jest bardzo obszerna i uregulowana prawnie już od dawna. W celu ustanowienia ujednoczonych wymagań w zakresie kompatybilności elektromagnetycznej podjęto działania i opracowano Regulaminy Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych. Aktualnie obowiązującym w tym zakresie jest Regulamin nr 10 EKG ONZ – wersja z 2017-02-17 [4]. W 2004 r. Komisja Wspólnot Europejskich opublikowała Dyrektywę nr 2004/104/WE [5] dotyczącą zgodności elektromagnetycznej dla m.in. pojazdów, przyczep, układów i podzespołów elektrycznych/elektronicznych (PZE). Wymagania Dyrektywy [5] i Regulaminu nr 10 [4] pokrywają się ze sobą i uzupełniają.

Wysokie wymagania dotyczące kompatybilności elektromagnetycznej (EMC) stosowanej w motoryzacji, w tym w systemach ładowania pojazdów są zdeterminowane przez wysokie poziomy generowanych prądów/napięć oraz przez szybkie obwody elektroniczne, które opierają się na impulsowej ich pracy. Wszystkie nowe technologie, oparte na energoelektronice i posiadające dużą zawartość harmonicznym, mają potencjał do generowania niepożądanych zakłóceń elektromagnetycznych (ang. Electromagnetic interference, EMI). Jest to szczególnie niepokojące, że liczba takich produktów – stacji ładowania, jest i będzie stale rozpowszechniana na rynku. Współoddziaływanie wielu stacji pomiędzy nimi a systemem elektroenergetycznym, lub między sobą w środowisku lokalnym może nieść wiele niebezpieczeństw. Większość dostępnych na rynku ładowarek akumulatorów pojazdów elektrycznych to nieliniowe urządzenia

dużej mocy, które z zasady generują harmoniczne prądu i zakłócenia przewodzone wysokich częstotliwości. Dlatego ważne są działania zapewniające kompatybilność elektromagnetyczną.

Wsparciem dla projektantów i producentów stacji ładowania jest norma IEC 61851-21-2 [6], mająca zastosowanie do urządzeń pokładowych i urządzeń do ładowania pojazdów, w tym określenie maksymalnych dozwolonych wartości granicznych. Wymagania stanowiskowe, realizacja pomiarów, analiza harmonicznych i sygnałów sięgających 6 GHz jest dużym wyzwaniem ale koniecznym aby uzyskać i wdrożyć do eksploatacji bezpieczne i zgodne z wytycznymi urządzenie.



**Rys. 1.** Przykładowe wartości zmierzonych zaburzeń elektromagnetycznych w torze zasilania stacji ładowania, Faza L3, stacja pracująca bez filtrów Schaffner, z filtrem FN3280 oraz filtrem FN256

Pełna wersja artykułu obejmować będzie szersze analizy dotyczące regulacji i wymagań techniczno – prawnych dotyczących elektromobilności, w tym stacji ładowania. Analizy będą wsparte przykładowymi badaniami własnymi, przeprowadzonymi w różnych trybach pracy stacji ładowania. Planowane są także opisy wdrożeń elementów przeciwzakłóceńowych, które zapewniają kompatybilną pracę stacji w systemie elektroenergetycznym.

## Literatura

- [1] Chudy A., Mazurek P. A., Electromobility - The Importance of Power Quality and Environmental Sustainability, Journal of Ecological Engineering.- 2019, vol. 20, nr 10, p. 15-23
- [2] USTAWA z dnia 11 stycznia 2018 r. o elektromobilności i paliwach alternatywnych, Dz.U. 2018 poz. 317
- [3] Rozporządzenie Ministra Energii z dnia 26 czerwca 2019 r. w sprawie wymagań technicznych dla stacji ładowania i punktów ładowania stanowiących element infrastruktury ładowania drogowego transportu publicznego, DZ.U. 2019 R. POZ. 1316
- [4] Regulamin nr 10 Europejskiej Komisji Gospodarczej Organizacji Narodów Zjednoczonych (EKG ONZ) – Jednolite przepisy dotyczące homologacji pojazdów w odniesieniu do kompatybilności elektromagnetycznej [2017/260]
- [5] DYREKTYWA KOMISJI 2004/104/WE z dnia 14 października 2004 r. dostosowująca do postępu technicznego dyrektywę Rady 72/245/EWG odnoszącą się do zakłóceń radioelektrycznych (zgodności elektromagnetycznej) pojazdów oraz zmieniająca dyrektywę 70/156/EWG w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do zatwierdzenia typu pojazdów silnikowych i ich przyczep
- [6] IEC 61851-21-2 – Electric vehicle conductive charging system – Part 21-2: Electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply – EMC requirements for off board electric vehicle charging systems

# ZAGADNIENIA JAKOŚCI ENERGII STACJI ŁADOWANIA POJAZDÓW ELEKTRYCZNYCH

Paweł A. MAZUREK, Aleksander CHUDY

Politechnika Lubelska

## Wstęp

Duża zależność od importowanych paliw kopalnych i wahające się ceny ropy naftowej sprawiają, że konieczne jest poszukiwanie alternatyw dla tradycyjnych form transportu. Coraz większą rolę odgrywa elektromobilność, czyli pojazdy elektryczne (ang. electric vehicles, EV). Technologia, która otacza EV osiąga bezprecedensowy poziom złożoności. Wynika to z ciągłej potrzeby sięgania po większe zasięgi jazdy pojazdów, skrócenie czasu ładowania akumulatorów, poprawy efektywności energetycznej [1]. Działania te opierają się na inteligentnych systemach zarządzania energią, niższej produkcji kosztów i nowoczesnych technologiach w obszarze bezpieczeństwa i ochrony użytkowników pojazdów.

## Aspekty jakości energii w pracy ładowarki

Najpopularniejszą i zarazem najbardziej zaawansowaną metodą ładowania pojazdów elektrycznych jest ładowanie przewodowe. Można wyróżnić pokładową (ang. on-board) infrastrukturę ładowania, gdzie wykorzystywana jest wbudowana w EV ładowarka, oraz zewnętrzne (ang. off-board) stacje ładowania [2-4]. Te ostatnie, podłączone do sieci elektroenergetycznej, mogą powodować wiele problemów związanych z dystrybucją i jakością energii. Oddziaływania te mają tendencje wzrostowe, ponieważ obecnie następuje zmiana z używania pojazdów napędzanych silnikiem spalinowym na EV. Ładowarki EV przekształcają z systemu elektroenergetycznego prądu przemienny na prąd stały w celach ładowania akumulatorów pokładowych. Podczas tej konwersji mocy przez energoelektroniczne przetwornice częstotliwości, harmoniczne są wprowadzane do sieci, co obniża jakość energii elektrycznej w sieci. Taka emisja harmonicznych powoduje przeciążenie elektryczne i termiczne transformatorów rozdzielczych, a tym samym wpływa na ich przewidywaną żywotność. Inne problemy obejmują pobieranie prądu nadmiarowego z sieci, niezrównoważenie między popytem a podażą w sieci elektroenergetycznej, czy odchylenie napięcia w sieci [5]. Zasadniczo na parametry jakości energii ma wpływ nieliniowy pobór prądu niektórych obciążeń [6, 7]. Główne problemy związane z jakością energii to: harmoniczne, zakłócenia elektromagnetyczne, interharmoniczne, chwilowe zaniki napięcia, przepięcia, czy migotanie światła [7].



Rys. 1. Badana stacja ładowania samochodów elektrycznych

Przedmiotem badań jest stacja ładowania akumulatorów EV zawierająca dwa moduły: AC oraz DC zintegrowana z lampą uliczną LED (rys. 1.). Do stacji ładowania został podłączony samochód BMW i3. Przeprowadzono badania zawartości harmonicznego prądu w kilku trybach pracy ładowarki. Tryby pracy wynikają z różnych rekomendacji prawnych które definiują bezpieczeństwo ładowania pojazdów elektrycznych [8]. Uzyskane wyniki są porównane z dopuszczalnymi limitami zawartości harmonicznego. Przeanalizowany zostanie również potencjalny wpływ ładowania na parametry jakości energii elektrycznej w przypadku pracy ładowarki z symulatorem o charakterze rezystancyjnym przewidzianym przez regulacje IEC 61851-21-2 [9].

Pełna wersja artykułu obejmować będzie wyniki uzyskanych badania, różne tryby pracy ładowarki i opis wdrożeń elementów zapewniających poprawną pracę stacji w systemie elektroenergetycznym.

### Literatura

- [1] Chudy A., Mazurek P. A., Electromobility - The Importance of Power Quality and Environmental Sustainability, *Journal of Ecological Engineering*, - 2019, vol. 20, nr 10, p. 15-23
- [2] Filipiak, M., Jajczyk, J., & Dobrzycki, A., *Ekonomika stosowania bezprzewodowego zasilania w pojazdach osobowych i autobusach elektrycznych*. Poznan University of Technology Academic Journals. Electrical Engineering, 2018
- [3] Czyż P., Cichowski A., Przegląd systemów ładowania elektrycznych osobowych pojazdów i koncepcja dwukierunkowej ładowarki pokładowej, *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektrotechniki i Automatyki Politechniki Gdańskiej*, 2017, nr 57, s. 11-16
- [4] Sienkiewicz Ł., Dulęba K., & Czyż, A., Szybkie ładowanie samochodu elektrycznego z elektrowni słonecznej. *Automatyka, Elektryka, Zakłócenia*, 2018, nr 9
- [5] Khalid M. R., Alam M. S., Sarwar A., & Asghar M. J., A Comprehensive review on electric vehicles charging infrastructures and their impacts on power-quality of the utility grid, 2019, *ETransportation*, 1, 100006
- [6] Mazurek P., Selected aspects of electrical equipment operation with respect to power quality and EMC, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2017, vol. 93, nr 1, p. 21-24
- [7] Taghizadeh S., Hossain M. J., Lu J., & Water W., A unified multi-functional on-board EV charger for power-quality control in household networks. *Applied Energy*, 2018, vol. 215, 186-201
- [8] Juha V., EV charging, SESKO, Tampere University of Applied Sciences, 2016, [http://www.tut.fi/eee/opetus/kurssit/DEE\\_26006/Slides%20Juha%20Vesa%20130416.pdf](http://www.tut.fi/eee/opetus/kurssit/DEE_26006/Slides%20Juha%20Vesa%20130416.pdf)
- [9] IEC 61851-21-2 - Electric vehicle conductive charging system - Part 21-2: Electric vehicle requirements for conductive connection to an AC/DC supply - EMC requirements for off board electric vehicle charging systems



# INSTALACJE REAKTORÓW PLAZMOWYCH – PRZEGLĄD ROZWIĄZAŃ UKŁADÓW ZASILANIA W ASPEKCIE WYMAGAŃ KOMPATYBILNOŚCI ELEKTROMAGNETYCZNEJ

Paweł A. MAZUREK, Grzegorz KOMARZYNIC, Henryka D. STRYCZEWSKA

Politechnika Lubelska

## Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie wykorzystaniem technologii plazmowych w procesach przemysłowych. Źródłem nietermicznej, nierównowagowej plazmy mogą być różne rodzaje wyładowań elektrycznych. Reaktory plazmy nietermicznej dla zastosowań przemysłowych, mimo różnych wyładowań wykorzystywanych do jej generacji, łączy wiele cech wspólnych. Są to na ogół urządzenia o dużej mocy, wymagające zasilania energią elektryczną o wysokim napięciu od kilku do kilkunastu kilowoltów i częstotliwości sieciowej lub podwyższonej.

W pracy ograniczono rozważania do wyładowań quasi-łukowych, zwanych ślizgającymi się wyładowaniami łukowymi (z ang. GAD - gliding arc discharges), w których wymuszony przepływ gazu roboczego rozrywa, początkowo stacjonarne, wyładowanie łukowe tworząc wyładowanie zbliżone do jarzeniowego, generujące „zimną” plazmę. Plazma wytwarzana w reaktorze GAD jest w stanie nierównowagi termodynamicznej: temperatura „gorących elektronów” jest znacznie wyższa niż temperatura gazu. Ten rodzaj źródła elektronów o wysokiej energii, bez podgrzewania gazu plazmowego w całej objętości komory reaktora plazmowego, jest wykorzystywany w typowych zastosowaniach chemii plazmy i inżynierii materiałowej – oczyszczanie gazów wylotowych, dekontaminacja i sterylizacja wody, powietrza i gleby, funkcjonalizacja powierzchni materiałów [1, 2, 3].

Reaktor plazmowy typu GAD różni się znacznie od innych nietermicznych źródeł plazmy. Rezystancja szczeliny między elektrodami reaktora, zmieniająca się w szerokim zakresie podczas jednego cyklu pracy, zależy od rodzaju gazu, jego prędkości przepływu i stopnia jonizacji, a także od wartości napięcia zapłonu wyładowań.

Układy zasilania stanowią nieodłączną część systemu generacji nietermicznej plazmy i, aby zapewnić poprawną pracę, stabilność i bezpieczeństwo tych bardzo nietypowych odbiorników energii elektrycznej, wymagają specjalnych metod projektowania i konstrukcji [2],[3].

Do zasilania reaktorów plazmowych stosuje się w praktyce różne źródła zasilania, które można podzielić na dwie zasadnicze grupy:

- układy transformatorowe, wykorzystujące właściwości obwodów magnetycznych [4];
- układy z elementami energoelektronicznymi [2].

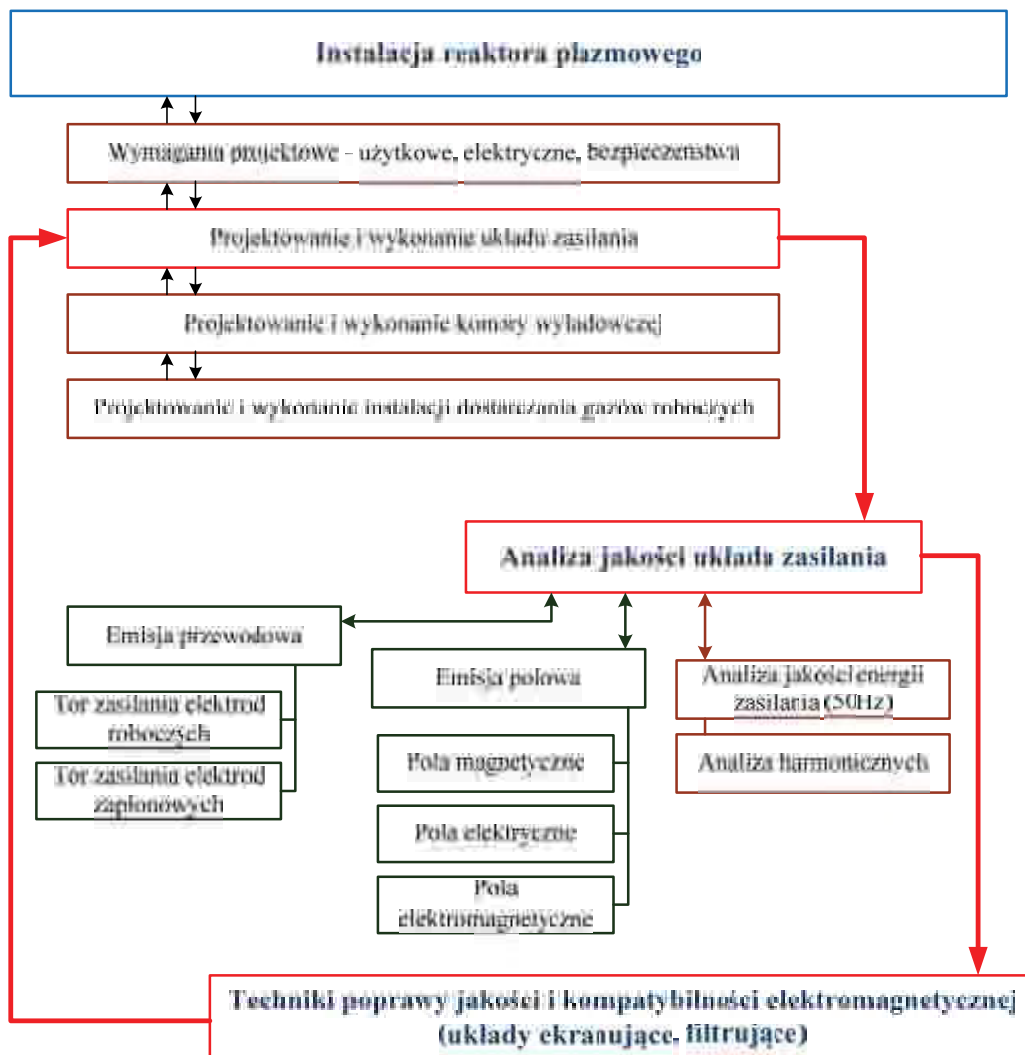
Wybór układu zasilania do danego procesu plazmowego, wymaga określenia parametrów reaktora plazmowego, do których należą:

- rodzaj zasilania, moc odbiornika i możliwa do realizacji moc układu zasilania;
- sposób realizacji zapłonu wyładowania;
- możliwość regulacji wartości prądu i zachowania jego ciągłości w całym obszarze pracy reaktora plazmowego;
- zdolność źródła zasilania do pracy w układach automatycznego sterowania i regulacji oraz dostosowania parametrów do różnych gazów roboczych i ich mieszanin;
- poprawna współpraca z siecią zasilającą;

- wysoka sprawność;
- prostota i bezpieczeństwo obsługi.

Aby spełnić wymienione wymagania i parametry reaktorów plazmowych ich układy zasilania są bardzo rozbudowane. Obok układu zasilania w energię elektryczną, zawierają układy przygotowania gazu, regulacji jego prędkości oraz układy zabezpieczeń. Nie bez znaczenia jest też kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) instalacji generacji nietermicznej plazmy, która może decydować o możliwości zastosowania wybranego układu zasilania w warunkach przemysłowych [5].

Projektowanie i wykonanie układu zasilania to jeden z głównych elementów instalacji reaktora plazmowego ze ślizgającym się wyładowaniem łukowym (Rys. 1). Analiza jakości wybranego systemu zasilania reaktora sprowadza się to serii testów. W przypadku ich negatywnych wyników kolejnym etapem jest dobór elementów ekranujących i filtrujących. Dopiero wówczas możliwa jest eksploatacja instalacji reaktora.



Rys. 1. Etapy projektowania i tworzenia instalacji reaktora plazmowego

Ocena jakości układu zasilania sprowadza się do analizy jakości energii zasilania (parametry napięcia i prądu zasilania, zawartości harmonicznych, symetrii zasilania) oraz do analizy emisji elektromagnetycznej wyższych częstotliwości – w ramach kompatybilności elektromagnetycznej (analiza zaburzeń przewodzonych i promieniowanych).

Dotychczasowe badania potwierdzają tezę, że reaktory plazmowe są odbiornikami energii elektrycznej, które mogą degradować jakość energii elektrycznej w lokalnym systemie elektroenergetycznym [5],[6].

Pomiary oscylogramów prądów toru zasilania reaktora i toru zapłonowego, a także pomiary ich harmonicznych określają parametry pracy w zakresie częstotliwości przemysłowej. Charakterystyki poziomów zaburzeń przewodzonych i promieniowanych określają parametry w zakresie wysokich częstotliwości, sięgających 1 GHz.

W pełnej wersji artykułu przedstawione zostaną wybrane rodzaje układów zasilania reaktorów plazmowych, oraz ich porównanie w aspekcie występujących w nich zaburzeń przewodzonych i promieniowanych.

### Literatura

- [1] Mazurek P., Chosen Aspects of the Electromagnetic Compatibility of Plasma Reactors with Gliding Arc Discharges, *Appl. Sci.* 2020, 10(11), 3789; <https://doi.org/10.3390/app10113789>
- [2] Komarzyniec G., Aftyka M., Operating Problems of Arc Plasma Reactors Powered by AC/DC/AC Converters, *Appl. Sci.* 2020, 10(9), 3295; <https://doi.org/10.3390/app10093295>
- [3] Stryczewska H.D., Supply systems of non-thermal plasma reactors. Construction Review with Examples of Applications, *Appl. Sci.* 2020, 10(9), 3242; <https://doi.org/10.3390/app10093242>
- [4] Stryczewska, H.; Janowski, T. Plasma Reactor Power Supply. Patent PL193,498. 28 February 2007
- [5] Mazurek P., Zagrożenia elektromagnetyczne reaktorów GlidArc, *Inżynieria Ekologiczna*, 2012, nr 30, 85-96
- [6] Mazurek P., Wpływ przepływu gazu roboczego na zaburzenia przewodzone w torze zapłonu trójfazowego reaktora plazmowego typu GlidArc, *Przegląd Elektrotechniczny*, 2019, vol. 95, nr 3, 37-40

# OCENA EMPIRYCZNA NARAŻENIA SPAWACZA PRACUJĄCEGO METODĄ MAG NA POLE ELEKTROMAGNETYCZNE

Joanna MICHAŁOWSKA<sup>1</sup>, Krzysztof PRZYSTUPA<sup>2</sup>, Piotr KRUPSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>The State School of Higher Education in Chelm,  
The Institute of Technical Sciences and Aviation

<sup>2</sup>Lublin University of Technology, Department of Automation

<sup>3</sup>Lublin University of Technology, Fundamentals of Technology Faculty

## Wprowadzenie

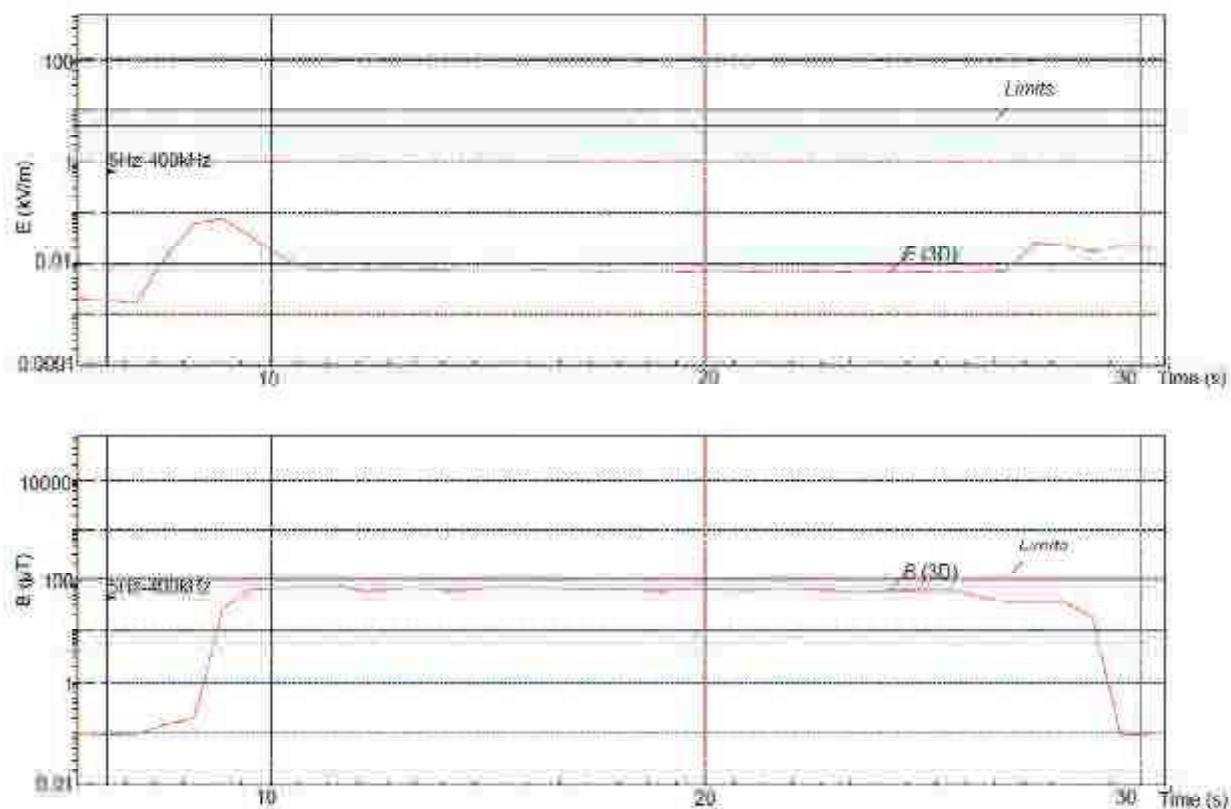
Wpływ pola elektromagnetycznego na organizmy ludzkie jest przedmiotem badań w licznych ośrodkach naukowych na całym świecie. Występowanie pola elektromagnetycznego wiąże się z zagrożeniami związanymi z jego oddziaływaniem w środowisku pracy. Na takie oddziaływanie między innymi narażony jest spawacz, który wykonuje swoją pracę przebywając w narażeniu 8h w ciągu dnia pracy. Skutkiem oddziaływania mogą być niepożądane zmiany funkcjonowania organizmu.

## Metodyka badań

Spawanie z wykorzystaniem elektrody topliwej w osłonie gazów aktywnych (Metal Active Gas) oznaczanej normatywnie jako 135, jest odmianą spawania łukowego. Doświadczenie przeprowadzono na standardowym stanowisku spawalniczym, wyposażonym w stół z odciążeniem mobilnym. Jako narzędzia (źródła) użyto popularnego półautomatu inwerterowego MidiMig 200 marki Magnum. Spawano stal DIN: ST37.2 (EN: S235JRG2) o grubości 5mm. Wykonywano spoinę pachwinową, na złączu teowym w pozycji podolnej. Badania natężenia pola elektromagnetycznego zostały przeprowadzone za pomocą miernika ESM-100 firmy Maschek. Pomiar prądu spawania wykonywano przy pomocy miernika cęgowego UT207 (UNI-T). Do pomiarów napięcia wykorzystano multimetr 87V (FLUKE). Pomiary wykonywano w trzech pionach i dwóch poziomach pomiarowych na wysokości 100 cm (punkt oraz 150 cm, gdzie usytuowany był przyrząd pomiarowy (ESM-100) (rys. 1).



Rys. 1. Stanowisko pomiarowe spawalnicze metodą MAG



Rys. 2. Rozkład natężenia pola elektromagnetycznego dla wybranego punktu pomiarowego

Największe wartości dla składowej magnetycznej zostały osiągnięte w punkcie pomiarowym, w którym spawacz znajdował się bezpośrednio przy obiekcie spawanym.

### Wnioski

Monitoring pola elektromagnetycznego jest bardzo ważny z punktu widzenia negatywnych skutków długotrwałego narażenia osób na oddziaływania składowej elektrycznej i magnetycznej pola elektromagnetycznego. Maksymalna wartość składowej magnetycznej  $B$  wynosiła  $80.38 \mu\text{T}$ . Porównując wyniki, reprezentujące dwie nastawy prądów, napięć i związane z nimi dwie prędkości dystrybucji drutu spawalniczego, dla których zbadano natężenia pól w sześciu punktach pomiarowych, można zauważyć że największe wartości dla składowej magnetycznej w każdym przypadku były zanotowane dla prądu  $I=150 \text{ A}$  i napięcia  $U = 20.8 \text{ V}$ . Maksymalna wartość natężenia pola elektrycznego  $E$  wynosi  $101 \text{ V/m}$ . Wartości składowej elektrycznej w każdym punkcie pomiarowym są tego samego rzędu. Podczas spawania natężenie pola elektromagnetycznego, zarówno dla składowej magnetycznej jak i elektrycznej jest kilkakrotnie wyższe w porównaniu do wartości zmierzonych bez pracy spawarki (tło).

### Literatura

1. Bieńkowski P., Podlaska J., Zubrzak B., Electromagnetic field in the environment – estimation methods and monitoring, *Medycyna pracy*, 2019, 5/2019 vol. 70,
2. Wyszowska, J., Szczygieł, M., Trawiński, T., Static magnetic field and extremely low-frequency magnetic field in hybrid and electric vehicles, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 96 nr 2, 2020, str. 60-62
3. Łada-Tondyra E., Krawczyk A., Electromagnetic field in medical diagnostic in the light of the newest ICNIRP document, *Przegląd Elektromagnetyczny*, R. 93, nr 12, 2017, str. 179-182
4. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego 2013/35/UE z dnia 26 czerwca 2013

# REAKCJA CZĄSTECZEK SKROBI ZIEMNIACZANEJ NA PROMIENIOWANIE MIKROFALOWE

Anna MIERNIK, Tomasz JAKUBOWSKI

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

## Wstęp

Wykorzystanie pól elektromagnetycznego i elektrycznego do stymulacji i inaktywacji drobnoustrojów w materiale biologicznym było przedmiotem wielu badań [1, 2]. Takie metody fizyczne są stosowane jako zabieg agrotechniczny między innymi w celu poprawy wigoru materiału siewnego [3,4]. Wyniki badań wskazują, że napromienianie sadzeniaków ziemniaka mikrofalami o częstotliwości 2,45 GHz (moc generatora 100 W) przez czas 10-20 s modyfikuje proces ich kiełkowania, plonowanie oraz wpływa na niektóre procesy przechowalnicze zachodzące w trakcie magazynowania plonu bulw [5,6]. Skrobia to polisacharyd roślinny zbudowany z monomerów D-glukozy połączonych wiązaniami  $\alpha$ -glikozydowymi. W wyniku biosyntezy cząsteczki skrobi powstają dwie frakcje nierozgałęzionej amylozy i rozgałęzionej amylopektyny. Pochodzenie botaniczne skrobi warunkuje szereg parametrów fizykochemicznych decydujących o jej właściwościach użytkowych. Podstawową cechą użytkową skrobi jest zdolności do kleikowania w wyniku oddziaływania na nią wysoką temperaturą przy udziale wody. Zdolność do tworzenia roztworu koloidalnego (kleiku) determinowana jest głównie właściwościami reologicznymi skrobi [9]. Stosowanie, w odniesieniu do bulw ziemniaka, metody fizycznej opartej o działanie fali elektromagnetycznej o częstotliwości 2,45 GHz, może prowadzić do zmian w strukturze ziaren skrobi.

## Cel i zakres badań

Celem pracy było określenie reakcji cząsteczek skrobi na promieniowanie mikrofalowe mierzone zmianą jej gabarytów. Zakres badań obejmował napromienianie mikrofalami bulw ziemniaka oraz określenie wielkości ziaren skrobi (pole powierzchni i najdłuższą średnicę).

## Metodyka badań

Obiektem badań były bulwy średnio-wczesnej, jadalnej, odmiany ziemniaka Innovator (często stosowanej w przetwórstwie na frytki). Określono masę bulw a następnie napromieniano je mikrofalami stosując czas ekspozycji 10, 20, 30, 40, 50, 60, 100, 180, 200, 300 450 i 600 s. Czas napromieniania określono na podstawie parametrów roboczych stanowisk wykorzystujących metody fizyczne w badaniach rolniczych [4,10]. Do napromieniania wykorzystano generator wytwarzający mikrofałe o częstotliwości 2,45 GHz. Bezpośrednio po napromienianiu bulw określono wielkość ziaren skrobi definiowaną poprzez jej pole powierzchni ( $P_p$ ) i najdłuższą średnicę ( $\phi_m$ ). Do pomiaru wielkości, losowo typowanych 15 ziaren skrobi, wykorzystano mikroskop optyczny OPTICA B-510BF. Do analizy obrazu wykorzystano program komputerowy PROVIEW x64, 3.7.13483.20181206. Z każdej bulwy, ze świeżego miąższu wykonano preparat mikroskopowy barwiony płynem Lugola (rys. 1). Ziarna skrobi obserwowano przy powiększeniu x40 [11,12].

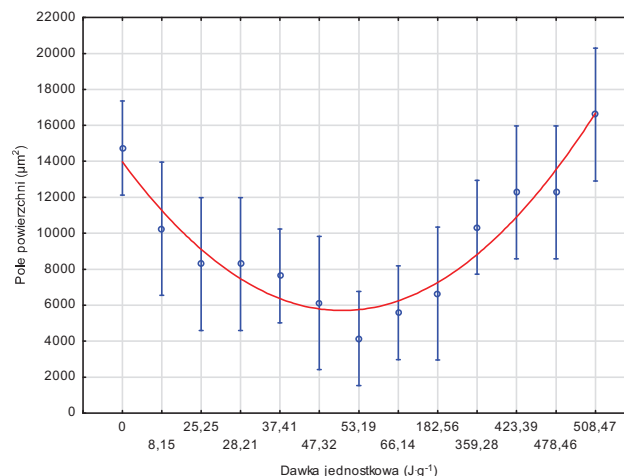


**Rys. 1.** Preparat pochodzący z bulwy ziemniaka poddanej działaniu mikrofal

Uzyskane wyniki analizowano na poziomie istotności  $\alpha=0,05$  z wykorzystaniem pakietu *STATISTICA* 13.3. Stosowano jednowymiarową analizę wariancji poprzedzoną badaniem normalności rozkładu w próbach (test Kołmogorowa-Smirnowa) i jednorodności wariancji (test Levene'a). Hipotezę zerową weryfikowano w oparciu o test F-Snedecora. Różnice między statystycznie istotnymi średnimi badano z zastosowaniem testu wielokrotnych porównań Duncana. Wyznaczono grupy homogenicznych zmiennych. Dla badanych zmiennych, metodą najmniejszych kwadratów, wyznaczono krzywe regresji. Obliczono wartość współczynnika determinacji ( $R^2$ ) oraz współczynnika korelacji liniowej Pearsona ( $R$ ).

### Wyniki badań

Wyniki testu Kołmogorowa-Smirnowa i Levene'a zezwoliły na zastosowanie parametrycznej analizy wariancji. Hipotezę alternatywną, w oparciu o istotną wartość testu F-Snedecora zweryfikowano pozytywnie, co było przesłanką do zastosowania testu wielokrotnych porównań Duncana i wyznaczenia grup homogenicznych zmiennych. Uzyskane w trakcie eksperymentu wartości jednostkowych dawek promieniowania mikrofalowego ( $D_j$ ) zawierały się w przedziale 8,15-508,47 [ $J \cdot g^{-1}$ ]. Wartość testu Wilksa  $\lambda=0,6793$  wskazuje, że jedynie około 32% wewnątrzgrupowego zróżnicowania wyników uzyskanych dla najdłuższej średnicy i pola powierzchni ziaren skrobi może być tłumaczona wpływem napromieniania mikrofalami bulw ziemniaka. Na rysunku 2 zaprezentowano zależność między jednostkową dawką promieniowania mikrofalowego a wielkością (określoną przez  $P_p$ ) ziaren skrobi ziemniaczanej. Zależność między jednostkową dawką promieniowania mikrofalowego a polem powierzchni ( $P_p$ ) ziarna skrobi opisać można funkcją postaci  $P_p = D_j^2 265,9237 - D_j 3497,8996 + 17207,3007$ .



**Rys. 2.** Zależność między jednostkową dawką promieniowania mikrofalowego a wielkością pola powierzchni ziarna skrobi ziemniaczanej

### **Wnioski**

Mikrofale modyfikują najdłuższą średnicę i pole powierzchni ziaren skrobi ziemniaczanej. W zakresie jednostkowych dawek 28,21–182,56 [J·g<sup>-1</sup>], mikrofałe powodują zmniejszenie gabarytów ziaren skrobi ziemniaczanej. Natomiast w zakresie dawek 359,28-478,46 [J·g<sup>-1</sup>], mikrofałe powodują zwiększenie gabarytów ziaren skrobi ziemniaczanej.

### **Literatura**

- [1] Drózdź T., Bieńkowski P., Kiełbasa P., Nawara P., Popardowski E. . Stanowisko do stymulacji zróżnicowanym polem elektromagnetycznym substancji biologicznej. Przegląd elektrotechniczny R. 95 NR 3/2019. S. 66-69. 2019
- [2] Oziembłowski M., Drózdź T., Nawara P., Nęcka K., Lis S., Kiełbasa P., Tomasik M., Ostafin M. Synergiczne oddziaływanie Pulsacyjnych Pól Elektrycznych (PEF) oraz innych metod na płynne produkty spożywcze. Przegląd Elektrotechniczny, nr 12, S. 121-125.2016.
- [3] Pietruszewski S., Martinez E. Magnetic field as a method of improving the quality of sowing material. International Agrophysics 29(29):377-389, 2015. DOI: 10.1515/intag-2015-0044
- [4] Jakubowski T. Use of UV-C radiation for reducing storage losses of potato tubers, Bangladesh Journal of Botany, 47/3, pp. 533-537, 2018
- [5] Jakubowski T. The impact of microwave radiation at different frequencies on weight of seed potato germs and crop of potato tubers. Agricultural Engineering 6(124), 57-64.2010
- [6] Jakubowski T. Effect of microwave radiation on the germination of Solanum tuberosum L. tubers, Bangladesh Journal of Botany, 45/5, pp. 1253-1255, 2016.



# INFLUENCE OF ELECTROMAGNETIC IRRADIATION OF MM-RANGE ON THE CELLULAR NUCLEI IN PLANT MODEL

Liya MINASBEKYAN<sup>1</sup>, Volodymyr POHREBENNYK<sup>2</sup>,  
Krzysztof PRZYSTUPA<sup>3</sup>, Orest KOCHAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Yerevan State University, Faculty of Biology, Department of Biophysics, Yerevan, Armenia

<sup>2</sup> Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

<sup>3</sup> Lublin University of Technology, Department of Automation

## INTRODUCTION

The development of civilization and technology is filled our living space with a variety of electromagnetic fields, the sources of which are computers, cell phones, various radiological diagnostic and physiotherapy equipment in medicine, cellular antenna amplifier, etc. Today in Armenia there are 3 mobile network operators: Beeline, VivaCell MTS and Ucom. One of the largest mobile communication operators in Armenia is VivaCell MTS. The company provides services in the sphere of telecommunication and information technologies with biggest number of subscribers exceeding 2million. VivaCell MTS is constantly expanding and developing its services. Today, 4G LTE network covers nearly 50% of Armenia's territory and the company is planning to expand the coverage throughout the country. Second mobile operator is a Beeline Armenia. The company offers services from fixed telephony to mobile communication of the GSM 900/1800 and 3G standards, as well as high-speed Internet access. After retiring of «Orange Armenia» telecommunications operator a new mobile operator (third operator) –Ucom entered in the market. Ucom previously offered only internet connection services, but with the acquisition of «Orange Armenia» today the company appears as a mobile communication provider as well. So the problem of electromagnetic safety becomes extremely relevant, since the most technical, telecommunication and medical devices radiate mm-wave in the range of 1-300 GHz. Thus, the territory of relatively small Armenia is covered three times by large telecommunication operators, which undoubtedly has a negative impact on human health.

In order to study the physiological characteristics of the influence of EHF EMP in the frequency range 45-53 GHz on biological organisms, we used a model system of germinating wheat seed in the early stages of ontogenesis. Plants are outstanding models compared to animals to conduct such investigations: they are immobile and therefore keep a constant orientation in the EMF and their specific scheme of development (high surface area to volume ratio) makes them ideally suited to efficiently intercept EMF. The plant's ability to respond to stresses largely depends on its capacity to modulate the transcriptome rapidly and specifically. In our study the adaptation of plant to the new abiotic stress, such as emission of extremely high frequency of electromagnetic irradiation (EHF EMI) by modulation of nuclear compartments' composition have been investigated.

## MATERIALS AND METHODS

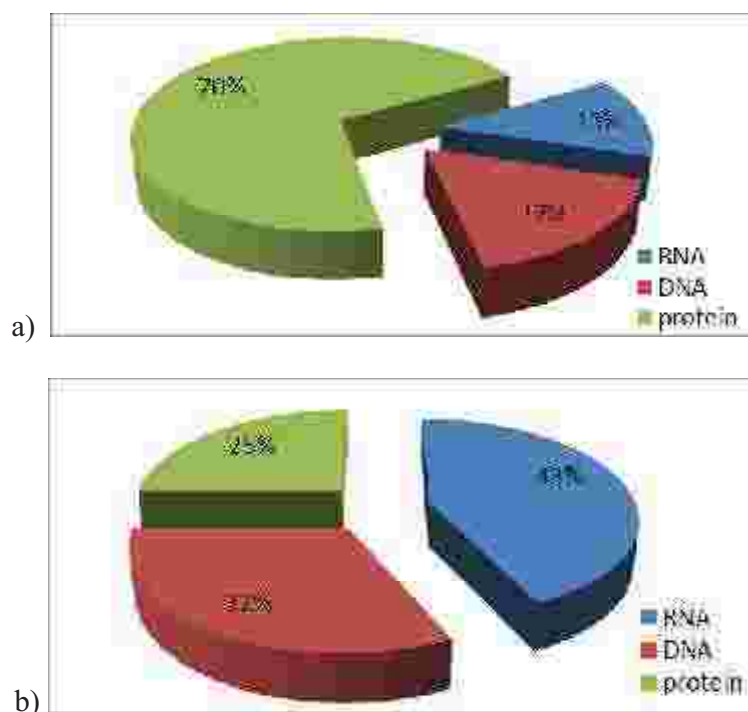
We used hexaploid wheat seeds. Since wheat seeds contain little moisture, and the main receivers of EHF EMR are water molecules, the seeds were soaked overnight and then irradiated with EHF EMF frequencies in the range of 45-53 GHz for 20 minutes. Nuclei isolation, fractionation of nuclei on nuclear membrane and soluble nuclear fraction, as well as estimation of biochemical content of the nuclear fraction carried out as describe in our previous work [1].

## RESULTS

A drawback in the interpretation and understanding of experimental data from bioelectromagnetics research is that there is no general acceptable mechanism on how EMF affects biological systems. Since the energy level associated with EMF exposure is not sufficient to cause direct breakage of chemical bonds within molecules, the effects are probably indirect and secondary to other induced biochemical changes in cells. The impact of EHF EMI of the mm-range (45-53 GHz) on protein, RNA and DNA content in composition of nuclear envelope and soluble nuclear fraction of wheat seedlings on 4-th day after irradiation have been studied. In composition of nuclear double lipid membrane include big protein complexes named as Nuclear Pore Complexes (NPC), consisting of many different proteins.

The primary molecular target of MM waves exposed is receptor proteins on cell membranes. One of the last accepted hypotheses for explaining pathologies of nuclear membrane pathology is an explanation of genome changes, more precisely, chromatin organization, and thus gene expression due to mutations of the nuclear membrane proteins [2].

In our study protein content is reduced in nuclear membrane composition of wheat seedlings Fig.1. For example we shown influence only one frequency of EHF EMI, and only on the nuclear membrane of seedlings.



**Fig. 1.** Changes in protein content (green) of nuclear envelope of wheat seedlings of control (a) and treated by frequency 50 GHz seeds.

It is not yet known if the decrease in protein control results from increase in protein degradation and/or a decrease in protein synthesis, but this may constitute a stimulating field of investigation. Have been observed and rising of RNA content in nuclear envelope, due escalation of small RNAs activity or to the DNA breaking. These modifications of seeds growth after exposure by EMF may related with abnormal photosynthetic activity, as well as with plant transcriptome activity, which more visible by study modulation in the content of soluble nuclear fraction.

## CONCLUSIONS

Thus, our experiments confirm that human health is inextricably linked with doses, with the duration of exposure to sources of EHF EMP, such as cell phones, tablets, televisions, computers, etc.) in the early stages of the development of a young organism, both physical and on mental health. Further studies will

show that it is possible to achieve some optimization, improve the biosphere and techno-sphere in the interests of a freely developing personality and the health of all mankind.

#### **REFERENCES**

1. Minasbekyan LA, Gonyan SA, Parsadanyan MA, Vardevanyan PO The RNA – export and electrokinetic potential of nucleus surface during germination of cereal embryos. *Russian Journal of Plant Physiology* 49(2):250-254, 2002.
2. Korfali N, Wilkie G.S., Swanson S. K., et al. The Leukocyte Nuclear Envelope Proteome Varies with Cell Activation and Contains Novel Transmembrane Proteins That Affect Genome Architecture // *Molecular & Cellular Proteomics* 9: 2571–2585, 2010

# CONSTRUCTION OF A ZOOMORPHICAL ROBOT FOR REHABILITATION OF AUTISTIC CHILDREN

Konrad NIDERLA<sup>1,2</sup>, Marcin MACIEJEWSKI<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Dream-Art sp. z o.o., Rzeszów

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation, Lublin

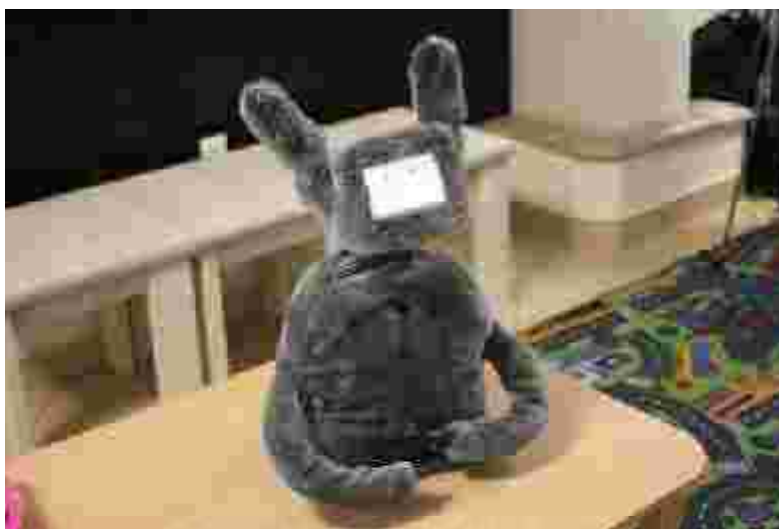
<sup>3</sup> Lublin University of Technology

## Introduction

Autism Spectrum Disorder (ASD) is referred to as a civilization disease. In the 80's autism affected 1 in 2500 citizens, currently autism affects from 1 to 3 percent of population [1]. Autism can be defined as deficits in social communication and interaction and presence of restricted, repetitive patterns of behaviors or interests [2]. This is a problem not only for sick people but for their entire families. This paper presents the zoomorphically robot for rehabilitation of young patients. The robot was tested during clinical trials, giving satisfactory results in the most studied cases. Excessive stimuli, facial expressions and expression can be anxious and difficult to interpret for people with autism. The robot has simplified gestures and facial expressions, making it easier for autistic children to interact with the robot rather than with caregivers or other children. Children with autism eagerly interact with the robot, make contact, often going beyond the limits that they do not cross when interacting with other people.

## Robot appearance

The robot was designed as a zoomorphic toy enabling interaction with children. The device has some features of a rabbit and a human. Thanks to this combination it captures the interest of the youngest patients. Figure 1 presents the first version of the device in natural environment. The robot has a height of about 60cm, the size of the base is about 40cm by 30cm and its weight is about 5kg. The outer casing was made in the form of a fluffy fur in grey colour. The characteristic feature are rabbit ears and tail. The shape and appearance of the robot were consulted with psychologists and psychiatrists, specialists in the field of rehabilitation of autistic children. It uses an LCD screen, speakers, a microphone and two cameras to communicate with the environment.



**Fig. 1.** Robot appearance

### **Robot construction**

The construction was made using 3D printing technology and laser cutting. The chassis uses two drives in the front with a sliding pad at the rear, allows the device to move forward and backward, as well as turns and rotate around its axis. The drives use DC motors with a wide range of supply voltages and mechanical transmission based on a helical gearbox. Obstacle sensors are placed in the chassis, thus protecting the robot from falling from a great height. Paws with four degrees of freedom can rise up and down, lean back and forward in the shoulders, bend at the elbows and clamp and open the grippers. The paws allow use of light toys with small dimensions when playing with children. Paws are driven using servo-motors. Servo-motors were mounted in the robot's body and the force to the actuators is transferred by means of steel cables sliding in Teflon tubes. The robot head rotates left and right, tilts forward and backward as well as tilts to the right and left. The whole motoric system is complemented by rabbit's ears and a tail. The tail moves in one axis and the ears move in two axes, therefore it is a remarkable tool to strengthen the conveying of emotions to the patient. Actuators and sensors are connected to the Arduino controller via a specially made PCB.

### **Control system**

The distributed robot management system consists of an on-board computer, supervisory and control applications, and artificial intelligence services. On-board computer located in the device manages motion, audio and video subsystems, as well as communication with the application supervising the operation of the de-vice via WiFi network. The task of the surveil-lance application is to enable the operator to control and issue commands, as well as to mediate between artificial intelligence services and the on-board computer itself. Artificial intelligence services are responsible for processing the incoming audio stream into text transcription and then detecting the meaning of recognized sentences and words, detecting the characteristic elements in the video stream of the robot, e.g. patient recognition, emotion recognition, detection of toys and other objects in the environment. Artificial intelligence also receives messages and confirmations about actions per-formed (movement, movements). Based on the above data, artificial intelligence systems infer and recommend the next actions performed by the robot such as verbal responses, movements, displacement, emotions.

Clinical trials are conducted at two centres dealing with the rehabilitation of autistic children. Currently, a group of 20 small patients has been examined, among which there are both boys and girls. Each study consisted of several sessions carried out on different dates. The first phase is to introduce the child to the rabbit, talk freely and play. The second phase of the study involved the implementation of a scenario in the form of conversation and playtime, displaying children's cognitive abilities. In the third phase, the scenario is implemented without the robot, only in interaction with the supervisor.

The robot was built as part of the project: RPLU.01.02.00-06-0083/16-00 "DreamRobot - support system for autistic children therapy" ("DreamRobot - system wsparcia terapii dzieci autystycznych")

### **References**

- [1] <https://zdrowie.pap.pl/psyche/czy-jestesmy-swiadkami-eksplozji-autyzmu>.
- [2] American Psychiatric Association. Diagnostic and statistical manual of mental disorders. 5th ed. Arlington, VA: American Psychiatric Association; 2013.

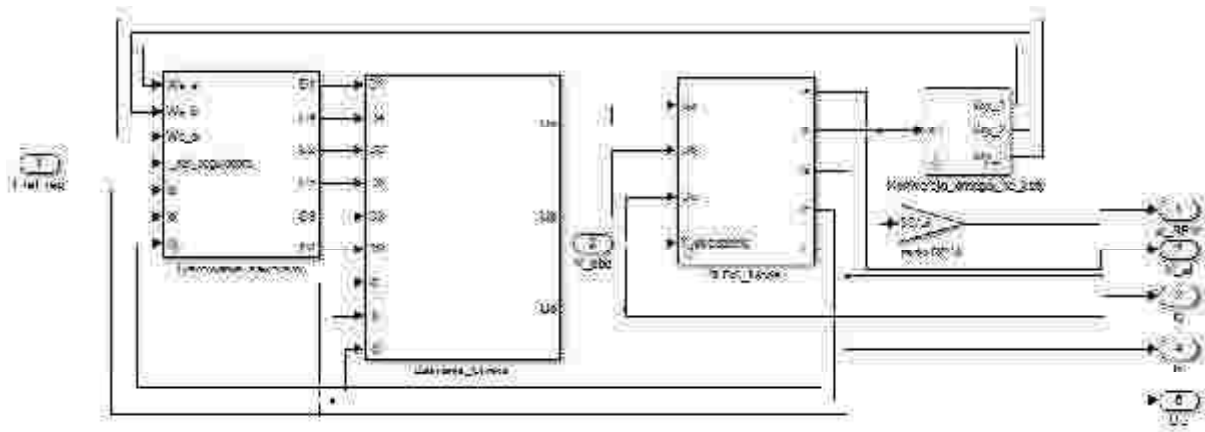
# WPŁYW MOMENTU ZACZEPOWEGO SILNIKA BLDC NA DRGANIA W UKŁADZIE ELEKTROMECHANICZNYM

Marcjan NOWAK

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny, Katedra Elektroenergetyki

Układy elektromechaniczne zawierające elementy sprężyste takie jak sprzęgła, długie wały i łączniki narażone są na działanie zjawisk drganiowych. Zjawiska te są częstą przyczyną powstawania awarii układu elektromechanicznego. Drgania mogą powodować zaburzenia pracy wirnika układu napędowego, natomiast rezonansowe wzmocnienie amplitudy drgań może spowodować uszkodzenie całego układu elektromechanicznego. Powyższe negatywne zjawiska powstają w skutek niedoskonałości i niesymetrii elementów wirujących, tłumieniu i powstawaniu siły sprężystości w łożyskach, wpływu substancji smarującej łożysko na tłumienność drgań oraz siły grawitacji. Sprężystość oraz tłumienie drgań danego elementu są zależne od właściwości materiałowych i konstrukcji układu, w którym pracuje. Na podstawie modelu matematycznego opisującego drgania giętkie elementu sprężystego oraz modeli matematycznych układu napędowego wraz z obciążeniem, sformułowano model symulacyjno-komputerowy. Model ten umożliwia symulację drgań giętkich punktu znajdującego się w środkowej części wału w płaszczyznach prostopadłych do osi wału. Model matematyczny opisujący drgania wału powstał przy następujących założeniach: nie uwzględniono efektu żyroskopowego, pominięto wpływ siły ciężkości.

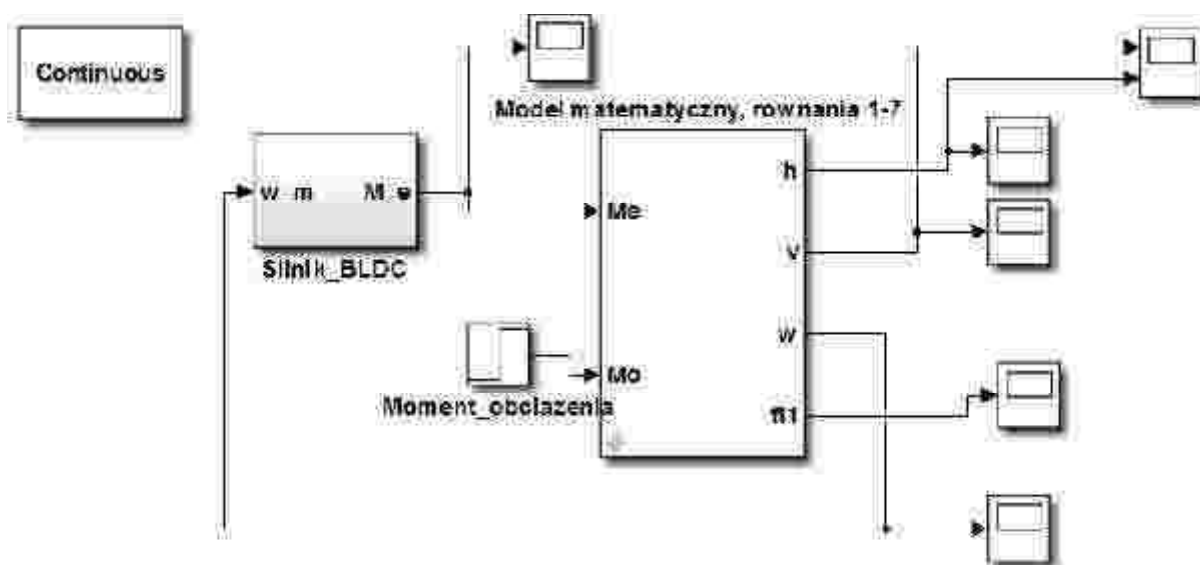
Moment zaczepowy silnika prądu stałego z magnesami trwałymi negatywnie wpływa na drgania w układzie elektromechanicznym. Powoduje wahania momentu elektromagnetycznego, co bezpośrednio przekłada się na zwiększenie amplitudy drgań. Z uwagi na powyższe przy ciągłej redukcji masy i zwiększaniu mocy układu elektromechanicznego stwierdza się, iż moment zaczepowy pełni ważną rolę przy określaniu przedziału bezpiecznych prędkości dla wałów pełniących rolę przekazników mocy w układzie elektromechanicznym.



Rys. 1. Schemat blokowy silnika BLDC wraz z falownikiem wykonany w programie Matlab Simulink

Symulacja komputerowa daje możliwość badania parametrów układu podczas rozruchu, nawrotu, hamowania, biegu jałowego oraz pracy ze zmiennym momentem obciążenia.

Model symulacyjno-komputerowy ułatwia analizę układu elektromechanicznego w krytycznych warunkach pracy do których można zaliczyć strefy rezonansowe, w których praca układu elektromechanicznego nie jest wskazana ze względu na podwyższone ryzyko awarii.



**Rys. 2.** Model symulacyjno-komputerowy układu elektromechanicznego z długim elementem sprężystym, który pozwala na wyznaczenie drgań giętych

Model silnika BLDC wykorzystany w symulacji został utworzony na podstawie modelu matematycznego zawierającego równania części elektrycznej oraz mechanicznej. W modelu silnika wykorzystano parametry elektryczne oraz mechaniczne, którymi charakteryzuje się rzeczywisty silnik wykorzystany w badaniach laboratoryjnych.

$$\frac{d^2 h}{dt^2} = -\frac{k}{m}(h - e \cos \varphi) \quad (1) \quad \frac{d^2 v}{dt^2} = -\frac{k}{m}(v - e \sin \varphi) \quad (2)$$

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{1}{J}[M_1 - M_2 - ke(h \sin \varphi - v \cos \varphi)] \quad (3) \quad k(h - h_0) = k_1 h_0 \quad (4)$$

$$k(v - v_0) = k_2 v_0 \quad (5) \quad M_1 = M_1 \left( \frac{d\varphi_1}{dt} \right) \quad (6)$$

$$M_2 = M_2 \left( \frac{d\varphi_2}{dt} \right) \quad (7)$$

Symulację komputerową przeprowadzono z wykorzystaniem parametrów mechanicznych, którymi charakteryzują się rzeczywiste elementy wchodzące w skład układu napędowego. Symulacja komputerowa została przeprowadzona dla wałów o różnych średnicach wykonanych z tego samego materiału.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE I REOLOGICZNE MASY JAJOWEJ PO ODDZIAŁYWANIACH SKONCENTROWANEGO POLA MIKROFALOWEGO (CMF)

Maciej OZIEMBŁOWSKI<sup>1</sup>, Agnieszka NAWIRSKA-OLSZAŃSKA<sup>1</sup>  
Damian MAKSIMOWSKI<sup>2</sup> Magdalena TRENKA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

<sup>2</sup> Cold brew coffee / Etno Cafe sp. z o.o, Wrocław

## Wstęp

We wcześniejszych badaniach wykazano skuteczność impulsowego oddziaływania CMF związanego z inaktywacją drobnoustrojów, zwłaszcza w ramach tzw. technologii płótkowej [1]. Celem pracy była analiza wybranych właściwości fizycznych masy jajowej po niskoenergetycznych impulsowych oddziaływaniach CMF, tj. przyrostu temperatury surowca, zmiany pH i barwy ( $L^*a^*b^*$ ) jak również ocena właściwości reologicznych wyrażonych jako lepkość.

## Materiały i metody

Surowcem do badań były jaja kurze świeże (o pH części białkowej nie wyższej niż 9,25) pozyskane od kur niosek Leghorn Brown w wieku 30 - 50 tygodni. Przed oddziaływaniami CMF surowiec był schładzany do temperatury w zakresie 4,4°C-5,9°C i przygotowany wg standardowej procedury [1]. Oddziaływania CMF przeprowadzono w prototypowym urządzeniu [1], gdzie zastosowano następujące stałe parametry CMF: moc 480W, szerokość impulsu 0,1 s, ilość impulsów w paczce 10, odstępy między paczkami 20 s. Zmiennymi parametrami CMF były odstępy pomiędzy pojedynczymi impulsami wynoszące 0,5 s, 1,0 s lub 1,5 s jak również dla każdego z tych odstępów 3 różne ilości paczek impulsów CMF (5, 7 lub 9), co skutkowało 9 wariantami badawczymi (oprócz kontroli). Ilość energii dostarczona do układu dla 5 paczek po 10 impulsów wynosiła 2,40kJ, dla 7 paczek (x10 impulsów) 3,36kJ, zaś dla 9 paczek (x10 impulsów) 4,32kJ.

Po zakończeniu oddziaływań CMF dokonano pomiaru temperatury prób, po czym schodzono je do temperatury 20°C, w której przeprowadzono analizę właściwości fizycznych i reologicznych oraz przeprowadzono analizę statystyczną zgodnie z metodologią wcześniejszych badań [1].

## Wyniki

W Tab. 1 przedstawiono otrzymane wartości dotyczące zmiany temperatury po oddziaływaniach CMF, barwę ( $L^*a^*b^*$ ), pH oraz lepkość masy jajowej przy szybkości ścinania 1000 s<sup>-1</sup> wyrażonej w milipaskalosekundach [mPa·s]. Najmniejszy wpływ oddziaływań CMF stwierdzono w odniesieniu do lepkości, gdzie tylko dwa warianty różniły się względem siebie w sposób statystycznie istotny. Przyrost temperatury prób był mocno zróżnicowany i najwyższe wartości zostały stwierdzone dla wariantów z krótkimi przerwami pomiędzy impulsami CMF oraz wyższymi dawkami wyemitowanej energii. Również w odniesieniu do parametrów barwy oraz wartości pH stwierdzono statystycznie istotne zróżnicowanie.

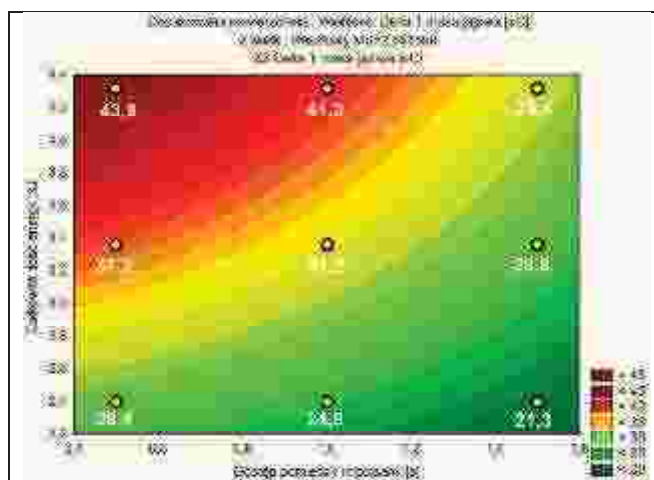


**Tab. 1.** Parametry fizyczne i reologiczne masy jajowej po oddziaływaniach CMF (n=3)

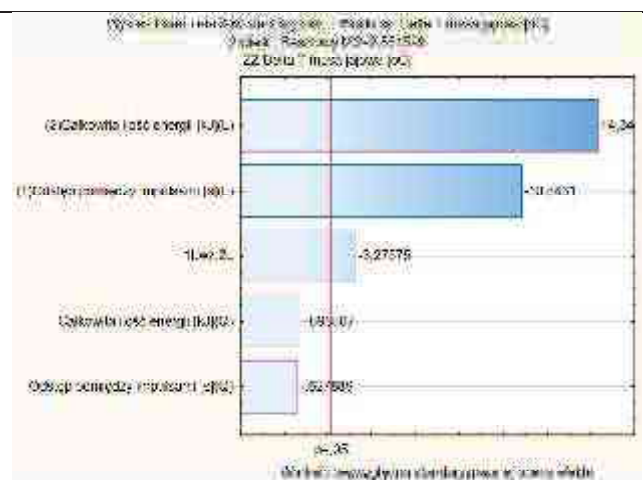
Wariant	$\Delta T$ [°C]	pH	L*	a*	b*	Lepkość [mPa·s]
Kontrola	-	8,12 <sup>a</sup>	48,08 <sup>ab</sup>	2,32 <sup>d</sup>	18,23 <sup>ab</sup>	7,483 <sup>ab</sup>
2,40kJ(0,5s)	28,4 <sup>f</sup>	8,06 <sup>b</sup>	45,14 <sup>c</sup>	1,96 <sup>ef</sup>	15,78 <sup>c</sup>	7,240 <sup>b</sup>
3,36kJ(0,5s)	37,2 <sup>c</sup>	7,98 <sup>f</sup>	46,94 <sup>abc</sup>	2,00 <sup>e</sup>	17,36 <sup>abc</sup>	7,587 <sup>ab</sup>
4,32kJ(0,5s)	43,9 <sup>a</sup>	8,03 <sup>cd</sup>	47,61 <sup>abc</sup>	3,10 <sup>a</sup>	18,21 <sup>ab</sup>	7,397 <sup>ab</sup>
2,40kJ(1,0s)	24,9 <sup>g</sup>	8,01 <sup>cde</sup>	46,96 <sup>abc</sup>	1,83 <sup>f</sup>	17,42 <sup>abc</sup>	7,263 <sup>ab</sup>
3,36kJ(1,0s)	31,2 <sup>d</sup>	7,98 <sup>f</sup>	48,10 <sup>ab</sup>	2,49 <sup>c</sup>	18,36 <sup>ab</sup>	7,473 <sup>ab</sup>
4,32kJ(1,0s)	41,0 <sup>b</sup>	7,90 <sup>g</sup>	49,20 <sup>a</sup>	2,64 <sup>b</sup>	19,22 <sup>a</sup>	7,607 <sup>ab</sup>
2,40kJ(1,5s)	21,3 <sup>h</sup>	8,03 <sup>c</sup>	46,47 <sup>bc</sup>	2,44 <sup>cd</sup>	16,39 <sup>bc</sup>	7,490 <sup>ab</sup>
3,36kJ(1,5s)	28,8 <sup>f</sup>	8,01 <sup>de</sup>	46,40 <sup>bc</sup>	2,08 <sup>e</sup>	16,72 <sup>bc</sup>	7,667 <sup>a</sup>
4,32kJ(1,5s)	29,4 <sup>e</sup>	8,00 <sup>ef</sup>	46,81 <sup>abc</sup>	2,63 <sup>b</sup>	17,32 <sup>abc</sup>	7,287 <sup>ab</sup>

Jednakowe litery w kolumnach oznaczają brak różnic statystycznych ( $p < 0,05$ )

Dodatkowo przeprowadzona analiza „powierzchni odpowiedzi” wskazała, które z wyróżników (tj. energia wyemitowana do układu oraz odstęp pomiędzy impulsami CMF) najmocniej wpływały na końcowe wartości analizowanych parametrów. Dzięki zastosowanej metodologii uzyskano wykresy estymujące badane wartości oraz istotność zmiennych zarówno w aspekcie liniowym (L), kwadratowym (Q) jak i interakcji liniowo-liniowych (LxL) jako wykres Pareta, co przykładowo ukazano dla przyrostu temperatury po oddziaływaniach CMF odpowiednio na Rys. 1 i 2.



**Rys. 1.** Przyrost temperatury masy jajowej po oddziaływaniach CMF (9 wartości) oraz estymacja jego wartości w określonych przedziałach zmienności



**Rys. 2.** Wykres Pareta przedstawiający istotność zmiennych w aspekcie liniowym (L) i kwadratowym (Q) oraz interakcji liniowo-liniowych (LxL) na model estymacji końcowych wartości przyrostu temperatury

W Tab. 2 przedstawiono współczynniki Pareta rozumiane jako ilorazy „efektu” i „błędu standardowego” obliczone w ramach „oceny efektów ANOVA” dla analizy doświadczenia z planem centralnym kompozycyjnym „powierzchni odpowiedzi”. Dla większości analizowanych wyróżników (poza lepkością) stwierdzono istotny wpływ zmiennych lub ich liniowej interakcji. Najczęściej największy wpływ na zmienność wyróżników w modelu „powierzchni odpowiedzi” (zaznaczone czcionką pogrubioną oraz gwiazdką) miała ilość energii dostarczonej do układu w aspekcie liniowym.

**Tab. 2.** Wartości liniowych (L) i kwadratowych (Q) współczynników Pareto analizowanych zmiennych (tj. całkowitej ilości energii dostarczonej do układu oraz odstępów pomiędzy impulsami) oraz współczynników Pareto interakcji liniowo-liniowych (LxL) w ramach modelu „powierzchni odpowiedzi” dla masy jajowej po oddziaływaniach CMF

Zmienne	$\Delta T$ [°C]	pH	L*	a*	b*	Lepkość [mPa·s]
Energia (L)	<b>14,349*</b>	<b>-3,597*</b>	<b>2,702*</b>	<b>7,008*</b>	<b>3,071*</b>	0,943
Odstęp (L)	<b>-10,843*</b>	-0,583	-0,002	0,294	-0,549	0,699
Energia (Q)	-0,696	0,702	-0,208	<b>2,167*</b>	-0,183	-2,053
Odstęp (Q)	-0,628	<b>3,430*</b>	<b>-3,031*</b>	-0,280	<b>-3,025*</b>	0,227
Interakcja (LxL)	<b>-3,276*</b>	0,000	-1,400	<b>-3,764*</b>	-1,100	-1,401

Statystycznie istotne efekty ( $p < 0,05$ ) zaznaczono pogrubioną czcionką oraz gwiazdką(\*). Im większa wartość bezwzględna tym większy wpływ danego czynnika (L/Q) lub interakcji (LxL) na model „powierzchni odpowiedzi”.

### Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonego doświadczenia stwierdzono, że zarówno ilość energii dostarczona do układu jak i odstępów pomiędzy impulsami CMF dla większości analizowanych parametrów miały statystycznie istotny wpływ. Modele „powierzchni odpowiedzi” mogą mieć praktyczne zastosowanie np. w warunkach przemysłowych w określeniu wpływu poszczególnych parametrów technologicznych na końcową jakość produktów spożywczych, w tym wyróżników fizycznych i reologicznych.

### Literatura

- [1] Oziembłowski M.: Wpływ pulsacyjnych pól elektrycznych (PEF) oraz skoncentrowanego pola mikrofalowego (CMF) na wybrane cechy płynnych produktów jajczarskich, Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, 1-185, 2019.

# CHARAKTERYSTYKA CZĘSTOTLIWOŚCIOWA PRZEKŁADNIKÓW PRĄDOWYCH MAŁEJ MOCY

Wojciech PLUTA, Paweł CZAJA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

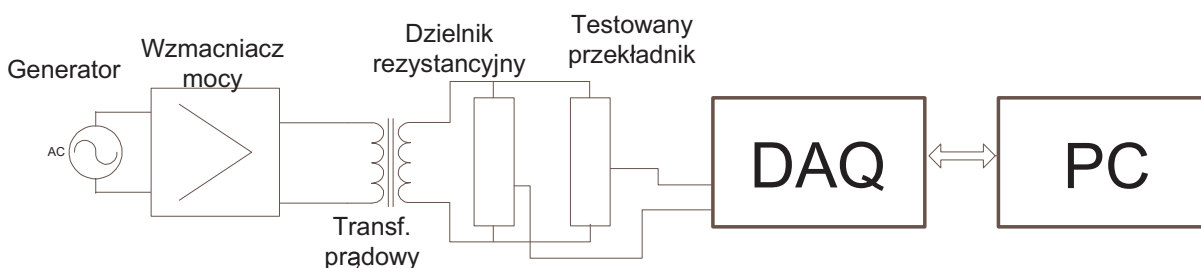
## Wprowadzenie

Dokładny pomiar energii pobieranej z sieci elektroenergetycznej lub dostarczanej do niej jest wymagany w aplikacjach Smart Grid. Ze względu na wysoką niezawodność i separację galwaniczną między częścią niskonapięciową urządzeń pomiarowych (watomierzy elektronicznych), a obwodem wysokoprądowym stosuje się przekładniki prądowe [1]. Przekładniki prądowe z rdzeniami wykonanymi z taśmy nanokrystalicznej wykazują wysoką liniowość przetwarzania prądu. Mogą jednak pracować w warunkach niesprzyjających przykładowo w obecności wyższych harmonicznych. W przypadku przekształcania odkształconego od sinusoidalnego przebiegu prądu pierwotnego, błędy prądu mogą znacznie wzrosnąć. Takie niekorzystne (przekładniki wg norm [2] są testowane przy sinusoidalnym przebiegu prądu) warunki mogą wystąpić w przypadku regulacji modulowanej impulsowo i przetworników energii stosowanych w nowoczesnej sieci elektroenergetycznej. Jednak nawet w takich warunkach wymagany jest dokładny pomiar wytwarzanej energii a szczególnie w sieciach w technologii Smart Grid.

Celem pracy jest przedstawienie właściwości metrologicznych przekładników prądowych z rdzeniami wykonanymi z nanokrystalicznych taśm na bazie Fe.

## Procedura pomiarowa

Eksperyment przeprowadzono na małych przekładnikach prądowych mocy ułamkowych z rdzeniami nanokrystalicznymi na bazie Fe i modułami trójfazowymi (zbudowanymi z trzech przekładników prądowych). Badano wpływ kształtu przebiegu prądu pierwotnego i częstotliwości na właściwości metrologiczne rdzeni nanokrystalicznych. Opracowano układ pomiarowy (rys.1), który do pomiaru prądu pierwotnego wykorzystuje specjalny rezystor bocznikowy o znikomej indukcyjności.

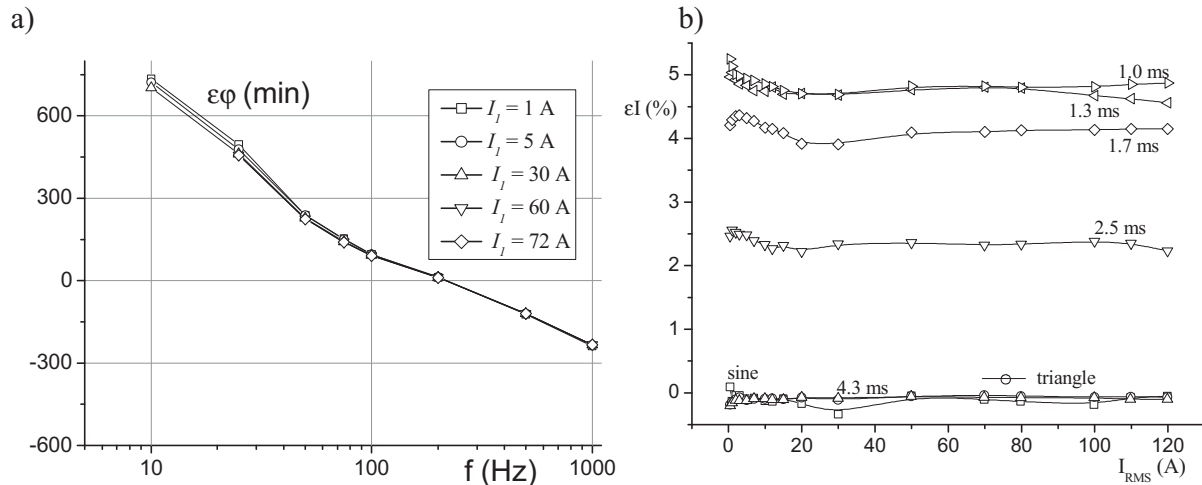


Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

System pomiarowy zbudowano w oparciu o platformę LabVIEW i kartę pomiarową NI PCI-6123 DAQ z jednoczesnym wyzwaniem kanałów. Zastosowano transformator mocy zdolny do pracy przy 3,0 V i 800 A (2,4 kVA) w celu zminimalizowania zniekształceń prądu.

## Wyniki pomiarów

Ze względu na duże przesunięcie fazowe badanego przekładnika prądowego zastosowano dwa parametry: błąd przesunięcia fazowego  $\varepsilon\varphi$  i błąd prądowy (stosunek)  $\varepsilon I$  opisujący ich właściwości metrologiczne. Wpływ częstotliwości prądu pierwotnego na błąd przesunięcia fazowego  $\varepsilon\varphi$  przedstawiono na rys. 2 a).



**Rys. 2.** Dokładność przekładnika prądowego wykonanego z pasków nanokrystalicznych opartych na Fe a) błąd przesunięcia fazowego  $\varepsilon\varphi$  względem częstotliwości sinusoidalnego prądu pierwotnego, b) błąd prądu  $\varepsilon I$  vs. efektywny prąd pierwotny sinusoidalnych, trójkątnych i różnych trapezoidalnych (50 Hz) fal

Wpływ częstotliwości na przesunięcie fazowe  $\varepsilon\varphi$  jest znaczący (rys. 2a). Błąd  $\varepsilon\varphi$  zmienia się z +650 min do -280 min dla częstotliwości od 10 Hz do 1 kHz. Wpływ częstotliwości na błąd prądu  $\varepsilon I$  jest stosunkowo niewielki (nie pokazano na rys. 2a), a powyżej 50 Hz jest prawie stały. Na rys. 2b) przedstawiono zależność błędu prądu  $\varepsilon I$  od efektywnego prądu pierwotnego  $I_{RMS}$  dla różnych kształtów fal prądu pierwotnego. Dla fal sinusoidalnych, trójkątnych i trapezoidalnych (z długim czasem narastania boków) błąd prądu  $\varepsilon I$  nie zmienia się znacząco w zakresie prądu pierwotnego. Jednak w przypadku kształtu fali trapezoidalnej o krótkim czasie narastania boków trapezoidalnych błąd prądu  $\varepsilon I$  rośnie wraz ze zmniejszaniem się czasu narastania. Błąd przesunięcia fazowego  $\varepsilon\varphi$  (nie pokazano na rys. 2b) nie zmienia się znacząco dla wspomnianych kształtów fal.

### Podsumowanie

Prezentowano wyniki pomiarów atrybutów metrologicznych różnych przekładników prądowych dla liczników energii elektrycznej. Właściwości metrologiczne przekładników prądowych wykonane z taśm nanokrystalicznych opartych na Fe zmniejszają się, gdy częstotliwość różni się od 50 Hz lub kształt fali prądu pierwotnego różni się od sinusoidalnego i jest zbliżony do prostokątnego. Dodatkowo obciążenie indukcyjne niekorzystnie wpływa na właściwości metrologiczne przekładników prądowych. Wpływ sąsiadujących przekładników prądowych na moduły jest ograniczony do wysokich prądów pierwotnych. Wpływ częstotliwości prądu pierwotnego zarówno na błąd przesunięcia fazowego  $\varepsilon\varphi$ , jak i na błąd prądowy  $\varepsilon I$  jest znaczny i należy go wziąć pod uwagę w nowoczesnych elektronicznych licznikach energii.

### LITERATURA

- [1] R. Hilzinger and W. Rodewald, Magnetic materials, Publicis Publishing, Erlangen 2013
- [2] Standard IEC 60044-1 Instruments Transformers Part I. Current transformers

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# ANALIZA STRUKTURY WIDMA ENERGII CIEPLNEJ GENEROWANEJ W CZASIE STYMULACJI MATERII ORGANICZNEJ POLEM ELEKTRYCZNYM

Ernest POPARDOWSKI, Paweł KIEŁBASA

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

## Wstęp:

Określanie struktury widma energii cieplnej jest dziś najczęściej realizowane przy użyciu technologii zwanej termowizją. Opiera się ona na wykorzystaniu specjalnych kamer umożliwiających wyznaczenie wartości emitowanego promieniowania podczerwonego i jego wizualizację w obrębie badanego obiektu. Wygenerowany obraz stanowi odwzorowanie rozkładu temperatury. Wykorzystanie kamer termowizyjnych w technice, początkowo ograniczone do oceny energooszczędności budynków [1,2,3], dziś zostało rozszerzone m.in. do bezinwazyjnej detekcji obiektów i urządzeń instalacji elektrycznych [4,5], w tym urządzeń energetyki odnawialnej [6], wykrywania bezzałogowych statków powietrznych [7], czy też do analizy procesów cieplnej obróbki metali [8,9]. Szczególnie istotne wydaje się określenie rozkładu energii cieplnej w odniesieniu do substancji organicznych celowo poddawanych działaniu pola elektrycznego. W takich układach, zgodnie z prawem Joule'a – Lenza, generowana jest znaczna ilość energii cieplnej, która w wielu przypadkach może stanowić czynnik determinujący efekt wywołany stymulacją, a tym samym ograniczający wpływ samej energii elektrycznej na badany obiekt. Celem badań było określenie struktury energii cieplnej generowanej przez stanowisko do stymulacji materii organicznej polem elektrycznym, z uwzględnieniem różnej kombinacji napięcia pola oraz czasu pracy urządzenia.

## Metodyka badań:

W doświadczeniu do stymulacji substancji organicznych wykorzystano stanowisko badawcze (rys. 1), będące na wyposażeniu Laboratorium Eksperymentalnych Technik Badawczych Surowców i Produktów Biologicznych Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie. Stanowisko to składa się z dwóch elektrod w postaci miedzianych płytek o wymiarach 18,5 x 25 cm oraz autotransformatora typu TaR-0,63. Elektrody zostały umieszczone na stelażu wykonanym ze szkła akrylowego (PMMA), stanowiącego izolację a zarazem tworzącego konstrukcję stanowiska.

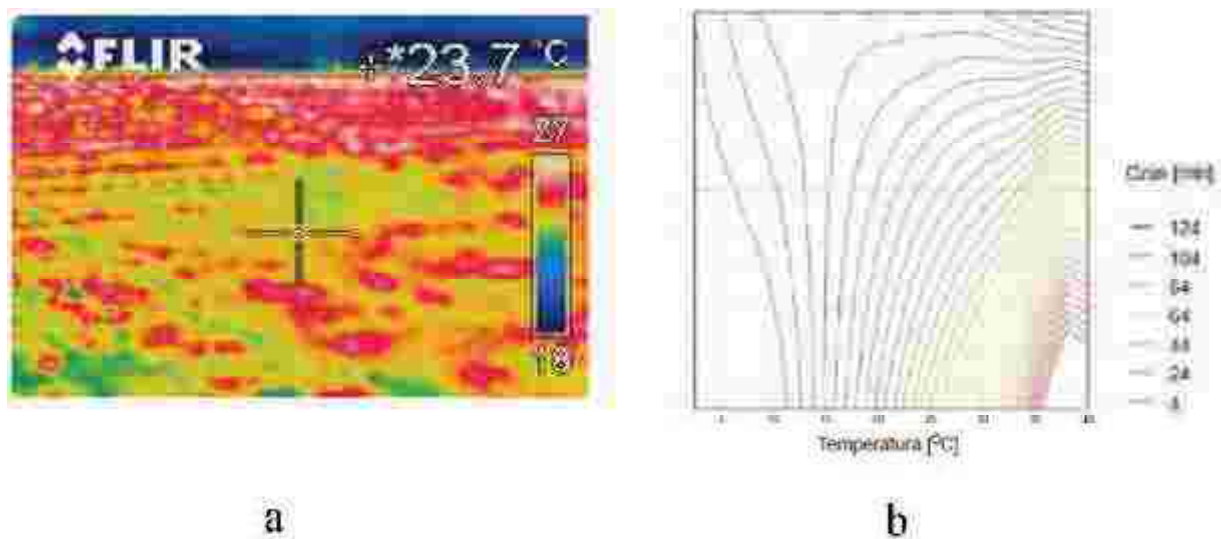


Rys. 1. Stanowisko do stymulacji substancji organicznych polem elektrycznym

Zastosowanie licznych wsporników oraz możliwość zmiany położenia obu elektrod, pozwala na dostosowanie szerokości szczeliny między elementami roboczymi, w zależności od zastosowanej metodyki oraz ilości i kształtu stymulowanego materiału. Regulacja napięcia następuje poprzez zastosowanie autotransformatora zasilanego od strony pierwotnej napięciem sieciowym, jednofazowym (230V / 50Hz). Wartość napięcia po stronie wtórnej jest płynnie regulowana przy zastosowaniu jednej z dwóch metod, tj. analogowym pokrętle przymocowanym bezpośrednio do szczotki węglowej lub przy użyciu autorskiego programu komputerowego bazującego na środowisku LabView. Czas pracy urządzenia był limitowany temperaturą materiału poddawanemu stymulacji, której wartość graniczna wynosiła 40 °C, w celu uniknięcia inicjacji procesu denaturacji termicznej białka [10]. Pomiar temperatury, zarówno materiału, jak i części roboczych stanowiska, był wykonany bezkontaktowo za pomocą pirometru oraz kamery termowizyjnej, w sposób umożliwiający wizualizację widma ciepłego w przestrzeni trójwymiarowej. Efektem końcowym jest identyfikacja powierzchni elementów roboczych, w których efekt nagrzewania był najintensywniejszy.

### Wyniki badań:

Na rysunku 2a przedstawiono równomierność nagrzewania elementów roboczych w trakcie stymulacji polem o napięciu równym 2kV, a na rysunku 2b – wykres obrazujący charakterystykę nagrzewania się próbki materiału biologicznego w czasie stymulacji.



**Rys. 2.** Widmo energii cieplnej w czasie stymulacji polem elektrycznym o napięciu 2kV a) widok z kamery termowizyjnej, b) charakterystyka czasowa nagrzewania substancji organicznej umieszczonej w przedmiotowym polu

Odnotowano, że w przypadku zastosowania pola o napięciu 2kV, czas nagrzewania próbki od 5°C do 40°C (przy temperaturze otoczenia równej 16°C) można opisać przy pomocy równania wielomianowego drugiego stopnia, ze współczynnikiem determinacji na poziomie 0,94. Prostopadłościennie elektrody odznaczały się równomiernością zmian temperatury w całej swojej objętości. Z kolei w przypadku materii organicznej stymulowanej przy użyciu opisywanego urządzenia dostrzegalne były różnice w tempie zwiększania temperatury przez poszczególne warstwy materiału, z zintensyfikowanym nagrzewaniem się dolnych warstw.

### Wnioski:

Analiza struktury widma energii cieplnej generowanej w czasie stymulacji materii organicznej polem elektrycznym okazuje się niezwykle przydatna w celu eliminacji niepożądanych skutków spowodowanych przekroczeniem temperatury granicznej, a tym samym zniszczeniu struktur biologicznych. Wykorzystanie w tym celu kamery termowizyjnej pozwala na precyzyjne oraz dokładne określenie miejsca i czasu, kiedy stymulowana próbka powinna zostać usunięta ze stanowiska. Dodatkowo, kontrola wytwarzanej energii cieplnej pozwala na wykluczenie czynnika temperaturowego w otrzymanyh wynikach, a także

umożliwia wydłużenie czasu eksploatacji aparatury, poprzez ograniczenie nadmiernego nagrzewania się elementów roboczych.

## LITERATURA

- [1] Preda A., Lelia-Letitia P., Razvan S.P., Increasing comfort in a building using thermography, *Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics, and Nanotechnologies*, IX International Society for Optics and Photonics (2018), vol. 10977
- [2] Kędzierski P., Szumski M., Zastosowanie termografii do oceny jakości energetycznej budynków, *Ciepłownictwo, Ogrzewnictwo, Wentylacja*, 50 (2019), 136-141
- [3] Baritz M., Cotoros D., Barbu D., Use of thermo-vision for early detection of heat losses, inside and outside buildings with mixed heating, *Sustainable Energy in the Built Environment – Step Towards nZEB, Proceeding of the Conference for Sustainable Energy (CSE)*, (2019), 31-37
- [4] Łatka M., Piechota T Kamery termowizyjne w ocenie jakości energii elektrycznej, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, 272 (2016), 83-92
- [5] Styła S., Pietrzyk W., Ocena stanu technicznego alternatora na podstawie badań termowizyjnych, *Przełąd Elektrotechniczny*, 89 (2013), nr. 4, 296-298
- [6] Saginov L. D., Thermovision-thermographic research of local current density distribution over the area of PV cells, *International Journal of Applied Engineering Research*, 9 (2016), vol.11, 6151-6154
- [7] Sosnowski T., Bieszczad G., Madura H., Kastek M., Thermovision system for flying objects detection, *2018 Baltic URSI Symposium (URSI)*, (2018),141-144
- [8] Piecuch G., Madera M., Żabiński T., Diagnostics of welding process based on thermovision images using convolutional neural network, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 710 (2019), nr.1, 1-10
- [9] Wittchen W., Wykorzystanie techniki termowizyjnej w hutnictwie żelaza i stali, *Praca Instytutu Metalurgii Żelaza*, 62 (2010), nr.1, 250-254
- [10] Skipnes D., Van der Plancken J., Van Loey A., Hendrickx M.E., Kinetics of heat denaturation of proteins from farmed Atlantic cod (*Gadus morhua*), *Journal of Food Engineering*, 85 (2008), 51-58

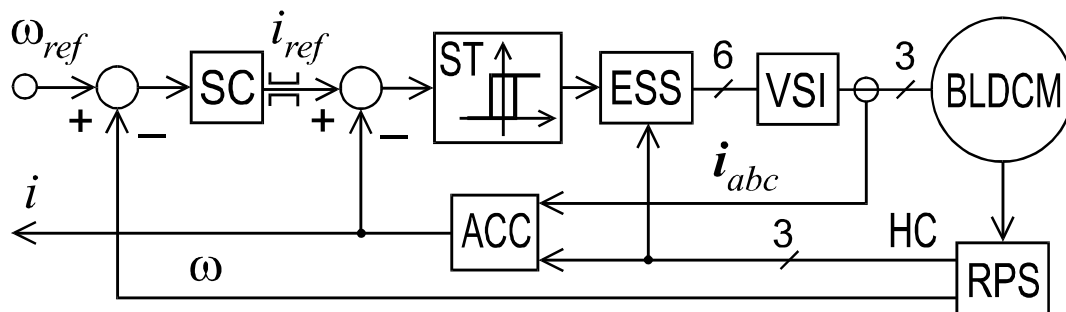
# TŁUMIENIE DRGAŃ W ELEKTRYCZNYM UKŁADZIE NAPĘDOWYM Z DŁUGIM ELEMENTEM SPRĘŻYSTYM

Andrzej POPENDA

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

Skokowe lub zbyt gwałtowne zmiany zadanej prędkości kątowej powodują w układach sterowania silników elektrycznych czasową blokadę pracy regulatora prędkości z powodu zastosowanych ograniczeń na jego wyjściu. Szczególnie niekorzystne skutki takiej blokady można zaobserwować w układach napędowych, w których pomiędzy silnikiem elektrycznym a mechanizmem roboczym występują długie połączenia sprężyste (wały napędowe). W konsekwencji pojawiają się skręcenia wału oraz towarzyszące im momenty skrętne o znacznych amplitudach, wielokrotnie przekraczających moment znamionowy silnika.

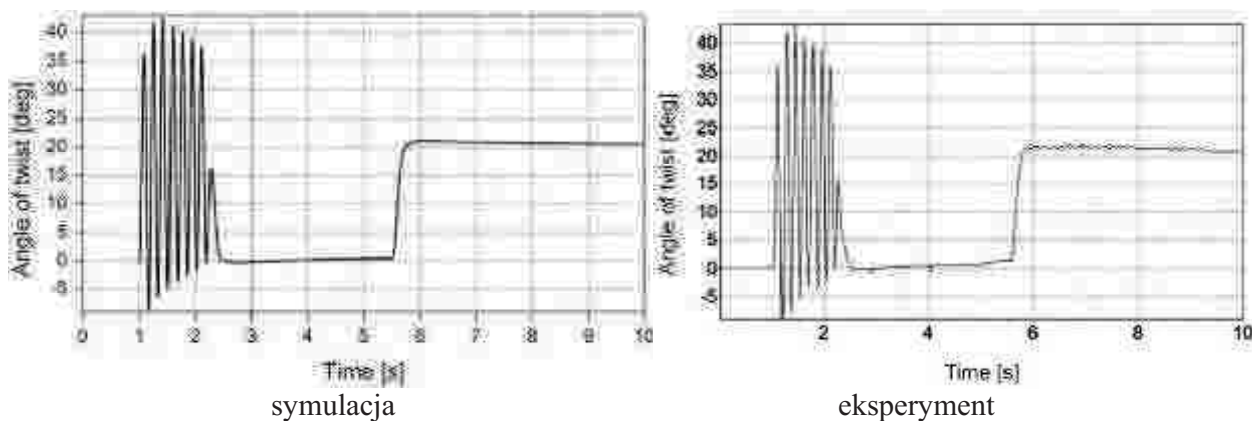
Na rys. 1 podano schemat blokowy standardowej struktury układu regulacji prędkości kątowej bezszczotkowego silnika prądu stałego (BLDCM), zawierającego zamknięte obwody regulacji prędkości kątowej wirnika oraz prądu twornika. Analogiczne rozwiązania stosuje się do sterowania zarówno silników szczotkowych jak i bezszczotkowych, przy czym w silnikach szczotkowych prąd twornika jest uzyskiwany w drodze bezpośredniego pomiaru. Należy nadmienić, że również w układach sterowania silników prądu przemiennego stosuje się nadrzędne regulatory prędkości kątowej oraz, alternatywnie, regulatory prądu lub momentu elektromagnetycznego.



**Rys. 1.** Schemat blokowy układu regulacji prędkości kątowej bezszczotkowego silnika prądu stałego, gdzie SC – regulator prędkości, ST – regulator dwupołożeniowy z histerezą (przerzutnik Schmitta), ESS – tablica łączy, VSI – falownik napięcia, RPS – czujniki położenia wirnika (hallotrony), HC – stany hallotronów, ACC – kalkulator prądu twornika

Na rys. 2 pokazano przykładowe przebiegi kąta skręcenia wału napędowego w badanym układzie napędowym podczas rozruchu silnika oraz pracy pod obciążeniem. Rozważany układ napędowy składa się z silnika BLDCM połączonego z prądnicą hamulcową prądu stałego za pomocą stalowego wału napędowego o długości 0,66 m i średnicy 8 mm. Przebiegi uzyskano metodą symulacji cyfrowych oraz metodą pomiarową na stanowisku laboratoryjnym [1].

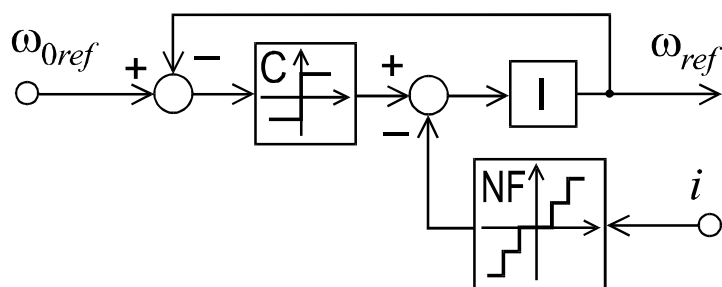




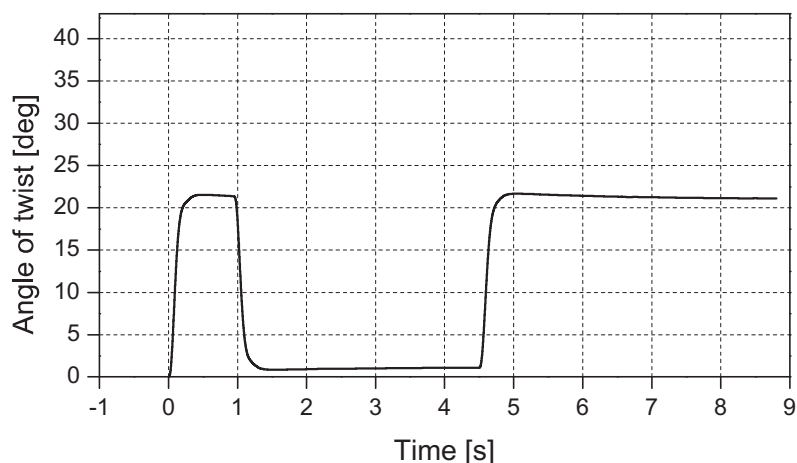
Rys. 2. Przebiegi kąta skręcenia wału napędowego w układzie napędowym z silnikiem BLDC

Blokada pracy regulatora prędkości jest tu (rys. 2) wyraźnie widoczna w pierwszej sekundzie rozruchu silnika, począwszy od wystąpienia skokowej zmiany zadanej prędkości silnika na wejściu układu regulacji. Natomiast po wyjściu regulatora prędkości ze strefy ograniczenia, drgania zostają szybko wytłumione w wyniku odblokowania jego pracy. Co więcej standardowy układ regulacji radzi sobie z zadaniem tłumienia drgań bardzo skutecznie bez stosowania żadnych dodatkowych obwodów lub urządzeń tłumiących.

Rozwiązaniem problemu tłumienia drgań we wszystkich stanach pracy układu napędowego, również podczas jego rozruchu, jest spowolnienie szybkości narastania prędkości zadanej, jednak intensywność tego spowolnienia powinna być dostosowana do aktualnego momentu bezwładności wirnika silnika elektrycznego oraz dołączonych do niego mas wirujących. W bardziej złożonych mechanizmach roboczych wiąże się to z koniecznością określenia zastępczego momentu bezwładności sprowadzonego na wał silnika. W artykule zaproponowano nieskomplikowaną strukturę aktywnego ogranicznika zadanej prędkości twornika (rys. 3), która umożliwia bezprzerwowe działanie regulatora prędkości dzięki automatycznemu dostosowaniu szybkości narastania prędkości zadanej do dowolnego momentu bezwładności. Strukturę tę łączy się ze standardowym układem regulacji prędkości kątowej silnika BLDC (rys. 1).



Rys. 3. Aktywny ogranicznik prądu twornika, gdzie C – komparator, I – integrator, NF – funkcja nieliniowa



**Rys. 4.** Przebieg kąta skręcenia wału napędowego z aktywnym ogranicznikiem prądu twornika

Na rys. 4 pokazano przebieg kąta skręcenia wału napędowego w badanym układzie napędowym z zastosowaniem proponowanego aktywnego ogranicznika prądu twornika (rys. 3). Układ ten pracuje w analogicznych warunkach jak opisany wcześniej układ bez ogranicznika, czyli w warunkach rozruchu silnika a następnie pod obciążeniem. Można zaobserwować skuteczne tłumienie drgań w układzie napędowym w każdym z rozpatrywanych stanów pracy układu, tj. podczas rozruchu, biegu jałowego i pracy pod obciążeniem.

- [1] Popenda A., Lis M., Nowak M., Blecharz K., Mathematical Modelling of Drive System with an Elastic Coupling Based on Formal Analogy between the Transmission Shaft and the Electric Transmission Line, *Energies* 2020, 13(5), 1181, pp. 1-14

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

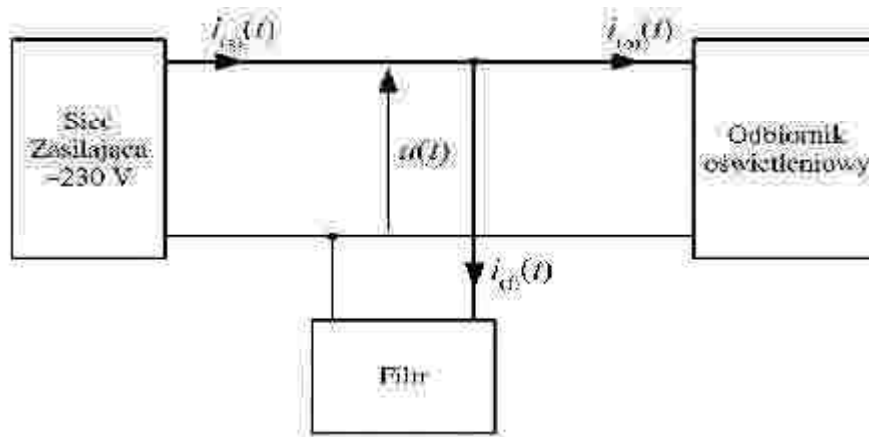
# POPRAWA JAKOŚCI ENERGII ELEKTRYCZNEJ W INSTALACJACH Z MIESZANYMI OPRAWAMI OŚWIETLENIOWYMI

**Tomasz POPŁAWSKI, Marek KURKOWSKI, Jarosław MIROWSKI**

Politechnika Częstochowska

Problematyka przedstawiona w artykule dotyczy szeroko rozumianych parametrów pracy opraw oświetleniowych w układach mieszanych oraz poprawy jakości energii elektrycznej, rozważanej w dwóch aspektach: jako odbiorów pobieranej energii określających i wytwarzających moc bierną, wpływającą na asymetrię prądów oraz wytwarzania wyższych harmonicznych, określonych za pomocą parametrów prądu i napięcia zasilającego (niezależnych od odbiorników podłączonych w punkcie przyłączenia), na które wpływają odbiorniki podłączone w punkcie przyłączenia.

Po przeprowadzonych badaniach w celu poprawy jakości energii wykonano własny program do projektowania pasywnych filtrów rezonansowych. Przeprowadzono szeroki zakres pomiarów różnych rodzajów urządzeń oświetleniowych w układach pojedynczych, złożonych i mieszanych. Do analizy parametrów energii wybrano oprawy ze źródłami wyładowczymi i ze źródłami LED. Badania przeprowadzono zgodnie ze standardem IEEE 1459-2010 [18] dla obwodów jednofazowych o przebiegach odkształconych. Wraz z rosnącym zastosowaniem nowych technologii w układach zasilania w sieciach elektroenergetycznych nasila się problem zachowania wymaganych przez normy parametrów określających jakość energii elektrycznej [10-11, 13,19-21]. W wielu pracach [5-6, 9, 15,18] przedstawiono zarówno definicję podstawowych parametrów jakości energii elektrycznej, jak i metody kształtowania przebiegów prądów i napięć – ograniczania harmonicznych. Bezpośrednią przyczyną generowania w układzie wyższych harmonicznych prądu są odbiorniki nieliniowe. Ten rodzaj obciążenia jest powodem odkształcenia przebiegów prądów względem przebiegu sinusoidalnego uznawanego za optymalny. Eksploatowanych jest coraz więcej odbiorników o charakterystykach nieliniowych takie jak prostowniki, zasilacze impulsowe czy przekształtnikowe układy napędowe. W instalacjach oświetleniowych zasilacze impulsowe stosowane są w urządzeniach ze źródłami fluorescencyjnymi, metalohalogenkowymi i przede wszystkim, w coraz popularniejszych urządzeniach z diodami elektroluminescencyjnymi (LED). Stale rosnąca liczba odbiorników nieliniowych, w tym również w instalacjach oświetleniowych powoduje narastające problemy z odkształceniem przebiegów prądów. Odkształcenia prądów są nie tylko większe niż dopuszczane przez aktualnie obowiązujące normy, lecz w skrajnych przypadkach są tak duże, iż są przyczyną różnego rodzaju awarii [2,11, 19]. Związane z odkształceniem wyższe harmoniczne prądu można wyeliminować stosując równoległy filtr rezonansowy [10, 12, 14, 17]. Filtry rezonansowe są szeroko stosowane do poprawy jakości energii elektrycznej. Mogą pracować samodzielnie, jako filtry pasywne [1, 3], lub współpracować z filtrami aktywnymi, tworząc filtr kompozytowy [2, 4, 16]. Filtr rezonansowy powinien być zaprojektowany z myślą o konkretnej aplikacji, przy uwzględnieniu impedancji sieci zasilającej w zadanym miejscu przyłączenia obciążenia, widma harmonicznych generowanych przez zadane obciążenie oraz odpowiednich dla analizowanego przypadku norm.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego

Pomiary wykonywano w układzie przedstawionym na rysunku 1. Wszystkie pomiary wykonano przy wykorzystaniu rejestratora SONEL PQM-701z, rejestrującego  $N = 256$  próbek na okres podstawowej harmonicznej  $f_1 = 50$  Hz. Uzyskane w wyniku pomiaru wartości próbek czasu, zawarte w wektorze  $t$ , poddano normalizacji, tak że  $t_1 = t_0 = 0$  s (wartości pierwszego elementu wektora czasu  $t_1$  oraz czas początkowy całkowania  $t_0$  zostały zrównane do zera). Z parametrów technicznych rejestratora wynikają następujące wartości:  $H = 128$ ,  $T = 0,02$  s i  $\tau = 78,125$  ms.

Podczas obliczania wartości wszystkich wielkości opartych na definicjach całkowych stosowano aproksymację całki metodą trapezów. Wszystkie wartości całek oraz harmonicznych obliczono dla jednego okresu podstawowej harmonicznej  $f_1 = 50$  Hz, tym samym przyjmując  $k = 1$ .

#### Literatura

- [1.] Bhonsle D. C., Kelkar R. B., Design and Analysis of Composite Filter for Power Quality improvement of Electric Arc Furnace, IEEE Int. Conf. On Electric Power and Energy Conversion Systems, Istanbul 2013
- [2.] Buła D., Pasko M.: Stability analysis of hybrid active power filter, Bull. Pol. Acad. Sci., Tech. Sci., vol. 62 no. 2, 2014, pp. 297-286
- [3.] Dzhankhotov V., Pyrhonen J., Passive LC Filter Design Considerations for Motor Applications, IEEE Trans. on Industrial Electronics, 10 (60), 2013, 4253-4259
- [4.] Guo L. Li, Y., Zhang X., Analysis and Application of Passive Damping LLCL Filter in Active Power Filter, IEEE Int. Conf. On Cyber Technology in Automation, Control and Intelligent Systems, Shenyang 2015, 751-755
- [5.] Kurkowski M., Fiołka K., Mirowski J., Popławski T., Pasko M., Białoń T.: Analiza zmian wartości współczynnika THDI w instalacjach oświetleniowych budynku przemysłowego, materiały XXVII Sympozjum Środowiskowego PTZE Zastosowania Elektromagnetyzmu w Nowoczesnych Technikach i Medycynie, Mierzęcin, 18 - 21 czerwca 2017 r., s.144-145.
- [6.] Kurkowski M., Mirowski J.: Efektywność energetyczna instalacji oświetleniowych z oprawami LED z zastosowaniem filtrów pasywnych, materiały XXVI Konferencji Technika Świetlna 19 - 20 czerwca 2017 r., s.91-95
- [7.] Kurkowski M., Mirowski J., Popławski T., Pasko M., Białoń T.: Pomiary energii biernej w instalacjach niskiego napięcia, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 92 NR 4/2016, s. 144 – 147.
- [8.] Kurkowski M., Mirowski J.: Prognozowanie zużycia energii elektrycznej na cele oświetleniowe z uwzględnieniem udziału światła dziennego, materiały 6th International Symposium on Applied Electromagnetics & XXVI Sympozjum Środowiskowe PTZE (SAEM'16), Wrocław, 26 - 29 czerwca 2016 r., s.159-160
- [9.] Kurkowski M., Mirowski J.: Analiza opłacalności stosowania pasywnych filtrów rezonansowych w oprawach i instalacjach oświetleniowych ze źródłami LED, XXV Konferencja Technika Świetlna 24-25 XI 2016 s. 55 – 60

- [10.] Lange A., Pasko M.: Wybrane zagadnienia dotyczące jakości energii elektrycznej w kopalniach i hutach, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 88 nr 6, 2012, s. 150-153
- [11.] Lange A., Pasko M., Kompensacja mocy biernej i filtracja wyższych harmonicznnych za pomocą filtrów biernych LC, *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 86 nr 4, 2010, str. 126-129
- [12.] Maciążek M., Pasko M., Wybrane zastosowania algorytmów numerycznych w optymalizacji warunków pracy źródeł napięcia, *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, 2007
- [13.] Moreno-Munoz A., *Power Quality: Mitigation Technologies in a Distributed Environment*, Springer-Verlag London 2007
- [14.] Pasko M., Dębowski K., Symetryzacja układów trójfazowych i wielofazowych zasilanych ze źródeł napięć okresowych odkształconych, *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, 2002
- [15.] Sharon D., Reactive power definitions and power factor improvement in nonlinear systems, *Proceedings IEE*, vol. 120, no. 6, 1973, 704-706
- [16.] Shepherd W., Zakikhani P., Suggested definition of reactive power for nonsinusoidal systems, *Proceedings IEE*, vol. 119, no. 9, 1972, 1361-1362
- [17.] Syafrudin M., Hadzer C. M., Sutanto J., Zero-Sequence Harmonics Current Minimization Using Zero-Blocking Transformer and Shunt LC Passive Filters, *IEEE Int. Conf. on Power System Technology*, Kunming 2002, 116-120
- [18.] *IEEE Std 1459-2010 Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Nonsinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions*, IEEE, New York, 2010
- [19.] PN-EN 50160 Parametry napięcia zasilającego w publicznych sieciach elektroenergetycznych
- [20.] PN - EN 61000-3-2 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 3-2: Poziomy dopuszczalne - Poziomy dopuszczalne emisji harmonicznnych prądu (fazowy prąd zasilający odbiornika < lub = 16 A)
- [21.] PN-EN 61000-3-12 Kompatybilność elektromagnetyczna (EMC) - Część 3-12: Dopuszczalne poziomy - Dopuszczalne poziomy harmonicznnych prądów powodowanych działaniem odbiorników, które mają być przyłączone do publicznej sieci zasilającej niskiego napięcia z fazowym prądem zasilającym odbiornika większym niż 16 A i mniejszym lub równym 75 A

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODELS IN EXPLICIT FORM FOR DESIGN AND ANALYSIS OF AXIAL FLUX PERMANENT MAGNET SYNCHRONOUS MACHINES

Franjo PRANJIĆ, Peter VIRTIČ

Faculty of Energy Technology, University of Maribor

## Abstract

The article proposes a methodology for design of double-sided coreless axial flux permanent magnet synchronous machines (AFPMSM), which is based on a developed model for calculating the axial component of the magnetic flux density in the middle of the stator with two air gaps (in the middle of the distance between opposite permanent magnets). The values of the axial components of the magnetic flux density in the middle of the stator with two air gaps for different geometric parameters represent the input data for the mathematical model in explicit form. The input data is calculated by using a simplified finite element method (FEM), which means that calculations of simplified 3D models are performed. The simplified model consists of two rotor disks with surface mounted permanent magnets and air between them, instead of stator windings. Such simplification is possible due to similar values of permeability of the air and copper. For each simplified model of the machine the axial component of the magnetic flux density is analysed along a line passing through the center of opposite permanent magnets and both rotor disks. Value sat the middle of the distance between the opposite permanent magnets are the lowest and are therefore selected for the input data at different stator, rotor disks and PM thicknesses. Such input data enables the model to consider the non-linearity of materials.

## Introduction

Stators of the axial flux permanent magnet synchronous machines (AFPMSM) can be constructed with or without ferromagnetic cores [1].

Coreless topologies are used for low and medium power generators [2]. This article deals with the coreless double sided AFPMSM with the surface mounted permanent magnets (PM) on the massive ferromagnetic material of two external rotor disks.

The advantages coreless topologies are the absence of a cogging torque [3] and the use of a massive instead of a laminated iron core of rotor discs. Due to the absence of losses in the ferromagnetic core of the stator, this topology can operate at a higher efficiency [4] compared to the conventional machines [3], [5], [6].

Torque and induced voltage sizes are mainly limited by:

- outer dimensions of the machine and its mass and
- current density in the windings.

The maximum permissible external dimensions of the machine limit the space for the installation of coils and permanent magnets, and the maximum allowed temperature limits the current density in the windings [5], [7], whereby the torque and induced voltage depend on the active volume of the copper of the winding, the volume of permanent magnets and of the current density in the windings [8].

The volume of PMs determines the magnetic flux density in the air gap, and is determined by their thickness, by the number of poles of the machine, and by the external and internal radius of the active winding volume of the machine [9].

Magnetic flux density in the air gap also depends on the thickness of the stator, as it determines the distance between the opposite PMs. This distance together with the volume (dimensions) of PMs also influence the

size of the attraction forces between the rotor disks [10], based on which the thickness of the rotor disks is determined [2].

Induced voltage also depends on the magnetic flux density in the air gap, more precisely from the axial component of the magnetic flux density which passes between the opposite permanent magnets [11]. This dependence is written with the help of Faraday's induction law based on a variable magnetic flux which perpendicularly passes through the coil [3].

From the above we can conclude that the magnetic flux density in the air gap is one of the key factors [12] to produce torque and the induced voltage [13], since it is directly related to all the dimensions and materials in the machine. Therefore, the calculation of the magnetic flux density is a priority task in the design of the machine.

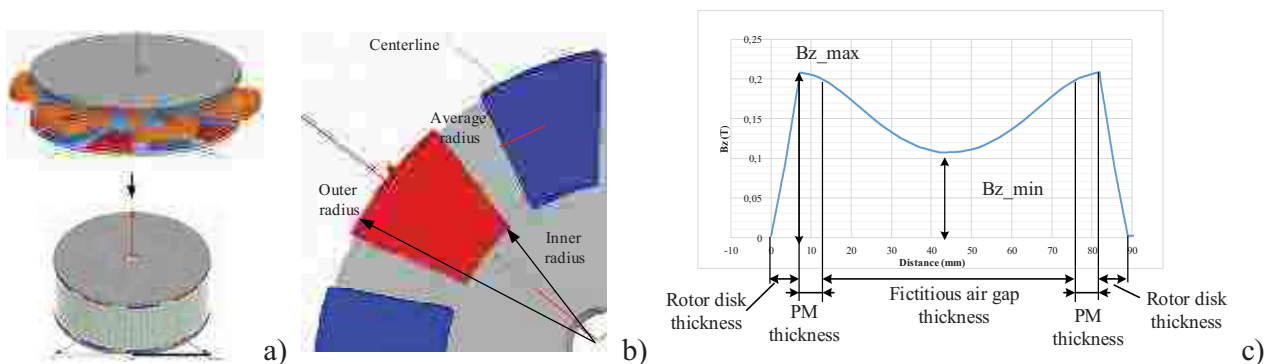
The distribution of the magnetic field in the AFPMSM can be determined using analytical and numerical methods among which the FEM is most commonly used. The advantage of calculations using the FEM is the higher accuracy of the results, but the weakness is in the longer required time for individual calculations [9].

Analytical methods are not time-consuming, but they have a disadvantage that it is difficult to accurately capture all three dimensions of the distribution of the magnetic field in the machine.

There are many different approaches for the analysis of magnetic fields in scientific literature. Here, only methods that are based on the middle radius of the machine, (i.e., PMs) are presented, since the methodology presented in this article is also based on the average radius of the machine.

This article proposes a new methodology for design of double-sided coreless AFPMSM, which is based on a developed model for calculating the axial component of the magnetic flux density in the middle of the stator with two air gaps (in the middle of the distance between opposite permanent magnets). The input data for the mathematical model is summarized by an approximation method and includes the effects of stator thicknesses, rotor thicknesses, PM thicknesses as well as the non-linearity of the rotor disks.

Figure 1 presents the basic principle of the methodology.



**Fig. 1.** a) 3D model of the simplified AFPMM, b) Model of rotor disk with surface mounted PMs with their dimensions and the position of the centerline on which the axial component of magnetic flux density is analyzed, c) Axial component of magnetic flux density along the centerline

## REFERENCES

- [1] M. Mirsalim, R. Yazdanpanah, and P. Hekmati, "Design and analysis of double-sided slotless axial-flux permanent magnet machines with conventional and new stator core," *IET Electr. Power Appl.*, vol. 9, no. 3, pp. 193–202, 2015.
- [2] F. Caricchi, F. Crescimbeni, F. Mezzetti, and E. Santini, "Multistage axial-flux pm machine for wheel direct drive," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 32, no. 4, pp. 882–888, 1996.
- [3] P. Virtic, P. Pisek, T. Marcic, M. Hadziselimovic and B. Stumberger, "Analytical Analysis of Magnetic Field and Back Electromotive Force Calculation of an Axial-Flux Permanent Magnet Synchronous Generator With Coreless Stator," in *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 11, pp. 4333–4336, Nov. 2008. doi: 10.1109/TMAG.2008.2001528

- [4] N. Lombard and M. Kamper, "Analysis and performance of an ironless stator axial flux PM machine," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 14, no. 4, pp. 1051–1056, Dec. 1999.
- [5] A. Daghigh, H. Javadi and H. Torkaman, "Improved design of coreless axial flux permanent magnet synchronous generator with low active material cost," *The 6th Power Electronics, Drive Systems & Technologies Conference (PEDSTC2015)*, Tehran, 2015, pp. 532-537. doi: 10.1109/PEDSTC.2015.7093331
- [6] S. Javadi and M. Mirsalim, "A coreless axial-flux permanent-magnet generator for automotive applications," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 44, no. 12, pp. 4591–4598, 2008.
- [7] A. Chen, R. Nilssen, and A. Nysveen, "Performance comparisons among radial flux, multi-stage axial flux and three-phase transverse flux pm machines for downhole applications," *2009 IEEE Int. Electr. Mach. Drives Conf. IEMDC '09*, pp. 1010–1017, 2009.
- [8] D. Hanselman, *Brushless permanent magnet motor design*. 2003.
- [9] Gieras, J.F., Wang, R.J., Kamper M.J., *Axial Flux Permanent Magnet Brushless Machines*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2004.
- [10] M. A. Mueller, A. S. McDonald and D. E. Macpherson, "Structural analysis of low-speed axial-flux permanent-magnet machines," in *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, vol. 152, no. 6, pp. 1417-1426, 4 Nov. 2005.
- [11] W. Jara, A. Martin, and J. A. Tapia, "Axial flux PM machine for low wind power generation," *19th Int. Conf. Electr. Mach. ICEM 2010*, 2010.
- [12] A. Daghigh, H. Javadi, and A. Javadi, "Improved Analytical Modeling of Permanent Magnet Leakage Flux in Design of the Coreless Axial Flux Permanent Magnet Generatorx," *Can. J. Electr. Comput. Eng.*, vol. 40, no. 1, pp. 3–11, 2017.
- [13] F. Caricchi, F. Crescimbin, O. Honorzti, G. Lo Bianco and E. Santini, "Performance of coreless-winding axial-flux permanent-magnet generator with power output at 400 Hz-3000 rev/min," *Industry Applications Conference, 1997, Conference Record of the 1997 IEEE*, New Orleans, LA, 1997, pp. 61-66 vol.1.



# ELECTRIC SPARK METHOD IN WATER TREATMENT PROCESS

Krzysztof PRZYSTUPA<sup>1</sup>, Sergei PETRICHENKO<sup>2</sup>, Anna YUSHCHISHINA<sup>2</sup>,  
Olena MITRYASOVA<sup>3</sup>, Volodymyr POHREBENNYK<sup>4</sup>, Orest KOCHAN<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Lublin University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Automation

<sup>2</sup> Institute of Impulse Processes and Technologies of NAS of Ukraine

<sup>3</sup> Petro Mohyla Black Sea National University, Department of Ecology

<sup>4</sup> Lviv Polytechnic National University, Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development,  
Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity

Lviv Polytechnic National University, Department of Measuring Information Technologies

## INTRODUCTION

The object of the research is to improve the water treatment with the help of the electric spark method. Wastewaters, which contains heavy metals have environmental risk. Therefore, the question of finding effective wastewater treatment methods containing heavy metals is an urgent issue. Among many coagulation methods for wastewater treatment from heavy metal ions are the most effective and used [1]; [2]; [3]. Reagent coagulation is based on the hydrolysis of polyvalent metals salts (aluminum and iron), which lead to the formation of highly dispersed oxides and hydroxides of these elements, which can actively adsorb impurities of heavy metal ions from water [4]; [8]. Issues of water status and quality are among the priorities in the environmental policy of European countries [5]; [6]. Studies on the treatment of multicomponent galvanic effluent by the electric spark method using metal loading (Fe, Al) and low-voltage (up to 1000 V) equipment have been carried out. It is shown that the degree of the process depends on the specific energy, the height of metal loading of the reactor, and practically does not depend on the energy of the pulse and the speed of its input into the liquid being processed. The concentrations of heavy metals ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}(\Sigma)$ ) in the treated water are significantly lower than their MPC.

## THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES

The raw material for the treatment is real wastewater after various galvanic production operations, which is supplied to the treatment facilities of a machine-building enterprise (State Enterprise "Zorya Gas Turbine Engineering and Production Complex" Mashproekt", Ukraine). Galvanic wastewater are multicomponent composition containing ions ( $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$ ). A mixture of iron and aluminum granules with a diameter from 4 to 6 mm is selected as the material for metal loading. This choice is due to the following reasons: the positive result of complex water purification from heavy metal ions during high-voltage electric discharges in reactors with granular metal loading and the use of these materials; the traditional use of steel or aluminum electrolytic soluble anodes during the implementation of the electrocoagulation method for treatment galvanic wastewater; experience in stabilizing spatially distributed discharges in a layer of aluminum and iron granules with using low-voltage (up to 1000 V) electrical equipment [7], [9].

The layer of granules of metal loading in the form of a rectangular parallelepiped is characterized by the following sizes: length – distance between the electrodes; width, which was equal to the width of the electrodes and height, which varied depending on the scheme of implementation of the fluid flow. The distance between the electrodes was chosen in such a way as to ensure stable breakdown along the shortest chain of contacts between the granules from one electrode to another at a given capacitance of the capacitor bank and order to optimize the phase composition of electro erosion particles. The discharge current and voltage at the inter electrode gap are recorded with an OWON XDS 3202E oscilloscope, using a divider and shunt of own manufacture. The experimental reactor is made in the form of a rectangular hollow parallelepiped with flat steel electrodes. The galvanic wastewater is entered the reactor passing through the

holes of the perforated bottom, then through the metal loading layer, in which multichannel spark discharges between metal granules formed at a given frequency. The efficiency of the galvanic wastewaters treatment process was studied by varying the specific processing energy, the amount of stored energy, pulse parameters, and the height of the metal load.

Flow-through treatment of galvanic wastewaters to MPC standards using the electric spark method with granular metal loading and a low-voltage (up to 1000V) source of discharge currents is possible and technologically feasible.

## CONCLUSIONS

The main influence on the degree of galvanic wastewaters purification under the conditions of choosing the parameters of the discharge pulse, so that efficiency  $\sim 0,8-0,85$ , has a specific energy, which at moderate concentrations of pollutants can be less than  $65 \text{ kJ/dm}^3$  ( $18 \text{ kW}\cdot\text{h/m}^3$ ) and metal loading height. Other variable technological parameters can serve either as a scaling tool or as methods for regulating the operation of electrical equipment.

The research is shown that the degree of purification depends on the specific energy, the height of the metal loading of the reactor, and weakly depends from the pulse energy and the speed of its input. The concentrations of heavy metals ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cr}^{6+}+\text{Cr}^{3+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\Sigma\text{Fe}$ ) in the treated water are significantly lower than their MPC. The electric spark method allows to achieve high results of wastewater treatment from heavy metals.

## REFERENCES

- [1] Bharti, N., Katyal, D. Water quality indices used for surface water vulnerability assessment. *Inter. J Environ. Sciences*, 2 (1), 154-173, USA, (2011).
- [2] Dudarev, V., Pomazkina, O., Elektrokoagulyacionnaya ochistka stochny'kh vod gal'vanicheskogo proizvodstva ot ionov nikelya (Electrocoagulation wastewater treatment of galvanic production from nickel ions). *Modern problems of science and education*, 2. (2012) – URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=5860> (in Russian).
- [3] Filatova, E., Soboleva, A., Intensifikacziya e'lektrokoagulyacionnogo metoda ochistki stochny'kh vod gal'vanicheskogo proizvodstva (Intensification of the electrocoagulation method of wastewater treatment of galvanic production). *International Research Journal*, 5(5), 127–128. (2012) (in Russian). – URL: <http://dx.doi.org/10.18454/IRJ.2227-6017>. (in Russian).
- [4] Kulskij, L., Spravochnik po svojstvam, metodam analiza i ochistke vody` v dvukh chastyakh (Handbook on the properties, methods of analysis and water purification in two parts). Kiev, Naukova dumka, 2, 630. (1980). (in Russian).
- [5] Mitryasova, O. Pohrebennyk, V., Kardasz, P. Hydrochemical Aspects of Surface Water Quality Assessment, Conference proceedings 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2018, (Albena, Bulgaria. 30 June – 9 July 2018, 5.2, 18, Ecology and Environmental Protection. Ecology, Economics, Education and Legislation, 513–520 (2018).
- [6] Mitryasova, O., Pohrebennyk, V., Selivanova, A., Environmental Risk of Surface Water Resources Degradation. *Water Supply and Wastewater Removal*, Politechnika Lubelska, 152–162. (2018). <http://bc.pollub.pl/dlibra/docmetadata?id=12819>
- [7] Petrichenko, S., Listovskij, D., Kuskova, N., Stabilizacziya razryadnykh impulsov i osobennosti soglasovaniya iskrovoj nagruzki pri elektroerozionnom dispergirovanii metallicheskich i grafitovykh granul v zhidkosti (Stabilization of discharge pulses and peculiarities of matching spark load during electroerosive dispersion of metal and graphite granules in a liquid). *Electronic material processing*, 2 (52), 8–13. (2016) (in Russian).
- [8] Zapolskij, A., Baran, A., Koagulyanty i flokulyanty v processakh ochistki stochnykh vod (Coagulants and flocculants in wastewater treatment processes), Leningrad, 226. (1987). (in Russian).
- [9] Mitryasova Olena, Pohrebennyk Volodymyr, Yushchishina Anna. Modernization of the water treatment process from heavy metals. *Proceedings of the 3rd International Scientific-Practical Conference Water supply and wastewater disposal: designing, construction, operation and monitoring, 23–25 October, 2019, Lviv*, Lviv Polytechnic Publishing House, 2019, 128–129.

# EARLY DETECTION OF CLUTCH SHAFT ALIGNMENT FAILURE USING DEEP LEARNING ALGORITHM

**Bartosz PRZYSUCHA<sup>3</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>3</sup>,  
Mariusz MAZUREK<sup>4</sup>, Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology

<sup>4</sup>Institute of Philosophy and Sociology of the Polish Academy of Sciences, Warszawa

## Introduction

In this paper the neural networks model based on long short-term memory (LSTM) for early failure detection of the clutch shaft alignment system is developed. This issue is of particular importance when assessing the condition of the tool and predicting its durability, which are key to the reliability and quality of the production process. The research showed that the proposed LSTM algorithm is more effective than conventional artificial neural networks (ANN) based on the multilayer perceptron model. In vibroacoustic diagnostics, we often deal with machines operating in various conditions, which makes it difficult to diagnose them using standard methods. In such cases, spectral methods require analysis of frequency bands, which may contain other components in addition to information about the diagnosed parameter. The algorithm for predicting impending failure gives the possibility to monitor the current degradation status of the device. This makes it possible to streamline planning processes in the areas of inspection, preventive replacement of parts, warranty, service or storage of spare parts in order to maintain manufacturing continuity and optimal production efficiency. The objective of the paper is to introduce an improved computational method for early failure detection based on a deep learning algorithm. It was proven that LSTM networks are suitable for successfully solving this scope of tasks.

## LSTM method

The research included analysis of the results of vibration acceleration measurements recorded on a bearing node in a propulsion engine connected by a shaft with a four-wheel clutch. The shaft with rolling bearings was located in three bearing nodes. A fault was introduced in this system consisting in moving the middle bearing by 5 mm from the shaft axis. This fault caused the system to misalign.

Vibration accelerations were measured by a piezoelectric sensor mounted on the bearing housing in horizontal and transverse directions to the shaft axis. The sampling frequency was 50kHz. As a result of shaft misalignment, overheating, displacement of the wheel coupling and a malfunction occurred. Damage consisting of overheating and displacement of the claw coupling due to misalignment of the system was recorded.

The analyzed clutch system is one of the key elements of machine reliability. In the event of a faulty clutch shaft alignment, expensive machine components such as the engine or transmission may be damaged. Therefore, it is important to recognize the failure at an early stage, which will allow the machine to stop and replace e.g. a faulty bearing.

500 measurement sequences were used in the research. The number of measurements in a single sequence ranged from 2410 to 3460.

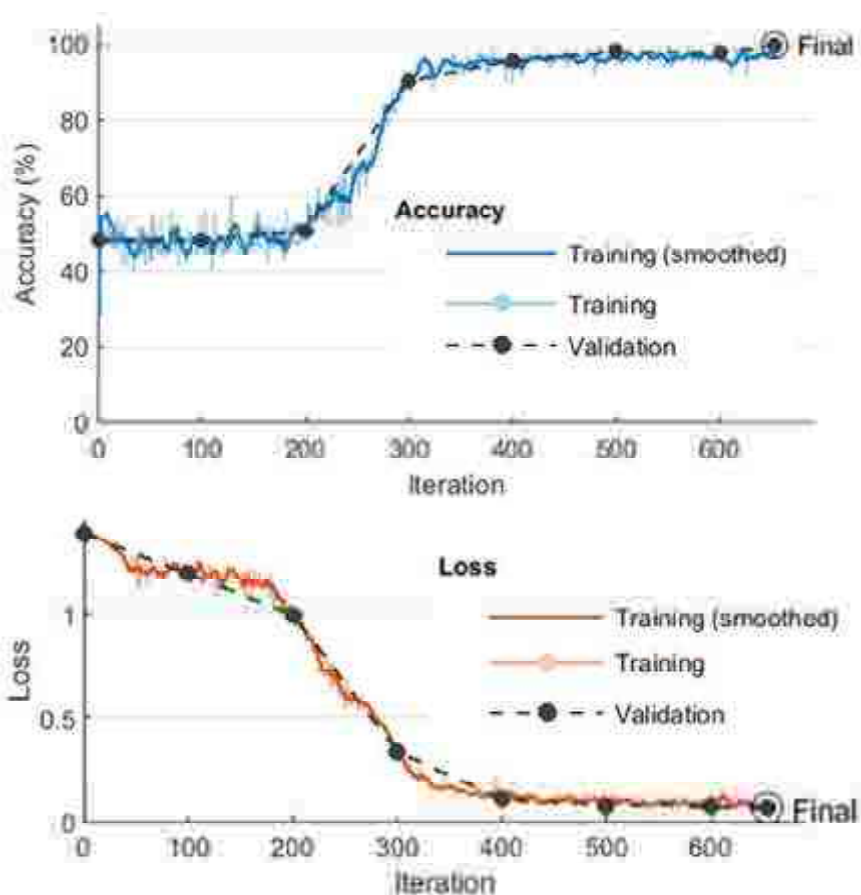
All measuring sequences were shortened to the shortest sequence length of 2410. They were shortened from the lower acceleration values. Then the sequences were divided into 10 element sets from which maximum, minimum, mean and median values were selected.

Because every technological machine has its own vibration characteristics of the clutch system, a classifier should be trained, which task is to select a predictor for a given device. This means that at the beginning

a number of device classes should be identified, grouped due to similar vibration characteristics (range). Then, for each class of machines, predictors should be trained, whose task will be the current status classification.

**Table 1:** Layers of LSTM neural network

#	Layer	Description
1	Sequence Input	Sequence input with 1 dimensions
2	LSTM	LSTM with 100 hidden units
3	Dropout	10% dropout
4	LSTM	LSTM with 100 hidden units
5	Dropout	10% dropout
6	LSTM	LSTM with 100 hidden units
7	Fully Connected	fully connected layer with 4 neurons
8	Softmax	softmax activation function
9	Classification Output	cross entropy function for 4 mutually exclusive classes



**Fig. 1:** LSTM network learning waveforms based on Accuracy and Loss

**References**

- [1] Mushiri T, Mbowhwa C. Fuzzy Logic Dynamics and Machine Prediction for Failure Analysis. Hershey, USA: IGI Global; 2018.
- [2] Noh MS, Hong DS. Implementation of remote monitoring system for prediction of tool wear and failure using ART2. Journal of Central South University of Technology (English Edition) 2011; 18(1): 177-183.
- [3] Elsheikh A, Yacout S, Ouali MS, Shaban Y. Failure time prediction using adaptive logical analysis of survival curves and multiple machining signals. Journal of Intelligent Manufacturing 2020; 31(2): 403-415.
- [4] Kłosowski G, Rymarczyk T, Gola A, Kłosowski G, Rymarczyk T, Gola A. Increasing the reliability of flood embankments with neural imaging method. Applied Sciences 2018; 8(9): 1457.
- [5] Scalabrini Sampaio G, Vallim Filho AR de A, Santos da Silva L, Augusto da Silva L. Prediction of Motor Failure Time Using An Artificial Neural Network. Sensors 2019; 19(19): 4342.

# IMPROVEMENTS IN EARLY FAILURE DETECTION OF THE CLUTCH SHAFT ALIGNMENT USING LSTM ALGORITHM

Bartosz PRZYSUCHA<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>2,3</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>1</sup>,  
Mariusz MAZUREK<sup>4</sup>, Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Lublin University of Technology

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation in Lublin

<sup>3</sup> Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>4</sup> Polish Academy of Sciences, Lublin

## Abstract

In this paper the neural networks model based on long short-term memory (LSTM) for early failure detection of the clutch shaft alignment system is developed. This issue is of particular importance when assessing the condition of the tool and predicting its durability, which are key to the reliability and quality of the production process. The research showed that the proposed LSTM algorithm is more effective than conventional artificial neural networks (ANN) based on the multilayer perceptron model. In vibroacoustic diagnostics, we often deal with machines operating in various conditions, which makes it difficult to diagnose them using standard methods. In such cases, spectral methods require analysis of frequency bands, which may contain other components in addition to information about the diagnosed parameter. The algorithm for predicting impending failure gives the possibility to monitor the current degradation status of the device. This makes it possible to streamline planning processes in the areas of inspection, preventive replacement of parts, warranty, service or storage of spare parts in order to maintain manufacturing continuity and optimal production efficiency. The objective of the paper is to introduce an improved computational method for early failure detection based on a deep learning algorithm. It was proven that LSTM networks are suitable for successfully solving this scope of tasks.

## Introduction

Nowadays, there are lots of attempts to use artificial intelligence methods in automatic diagnostics systems [1]. However, the number of existing variants of these methods is large, which makes it difficult to make the right choice. When choosing an artificial neural network, its type, architecture, parameters and learning algorithm should be specified. Unfortunately, the literature does not provide ready-made solutions for this choice, and even indicates the need for an individual approach to each of the problems [2].

Detection of defects at early stages of development allows to avoid a serious failure, the consequences of which may result in large economic losses or even a threat to human health and life [3–7]. Unfortunately, the diagnostic methods and measures described in the literature in most cases do not show sufficient sensitivity to early stages of damage.

This article deals with the issue of maintenance and reliability of production systems, in particular the problem of early recognition of failures in the coupling shaft alignment system. The reliability theory is based on probability theory which investigates, detects and forecasts random events. As regards the clutch shaft alignment – it determines probability of damages of individual elements or the whole the clutch shaft alignment system. In particular, the bearing or clutch may be responsible for the failure.

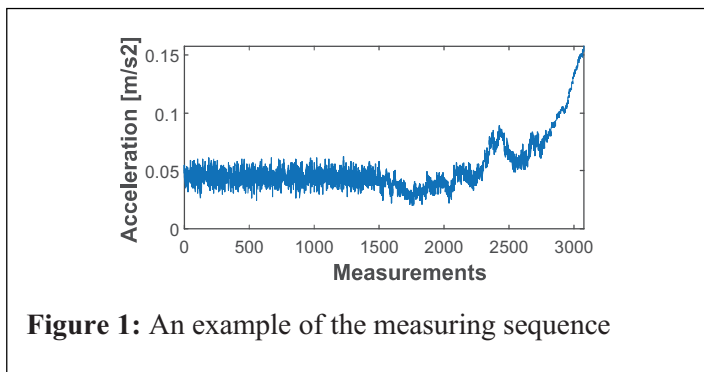
The article presents an enhanced method of comprehensive machine diagnostics in industry. This method allows a rational and effective maintenance of technological machines in industrial conditions.

The aim of the research was to improve the way of failure detection in clutch shaft alignment. The concept of reliable and economic supervision of industrial processes was presented.

The novelty is the use of deep machine learning method to develop the failure detection algorithm. To increase the effectiveness of the method, the innovative Long Short-Term Memory (LSTM) method was used. The conducted research shown that the proper use of the LSTM neural network allows to gain better results than using ordinary neural networks. The utilitarian aim was to enable the withdrawal or repair of a worn part before its failure causes losses and additional costs.

## Methods

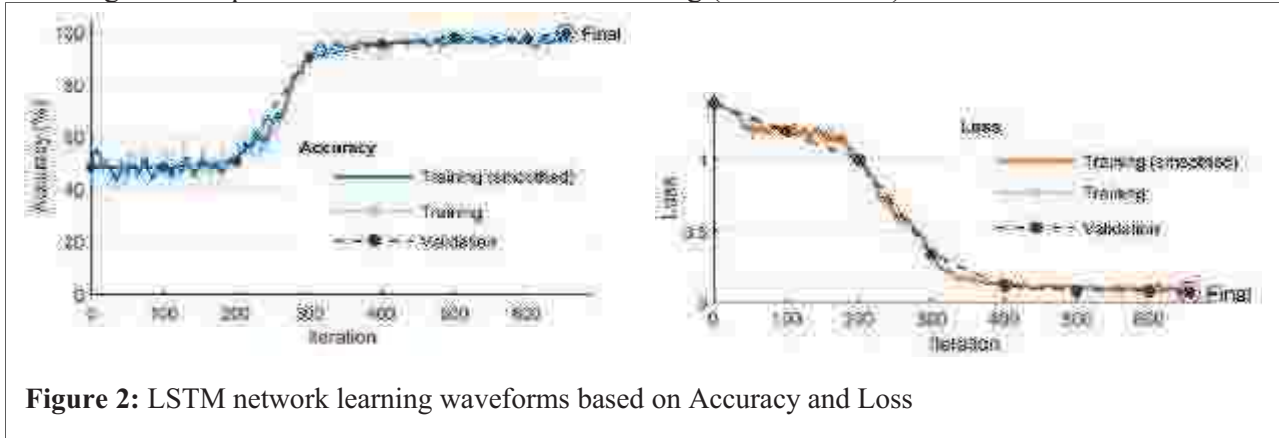
The analyzed clutch system is one of the key elements of machine reliability. In the event of a faulty clutch shaft alignment, expensive machine components such as the engine or transmission may be damaged. Therefore, it is important to recognize the failure at an early stage, which will allow the machine to stop and replace e.g. a faulty bearing. 500 measurement sequences were used in the research. The number of measurements in a single sequence ranged from 2410 to 3460. An example of the measuring sequence is shown in Figure 1.



**Figure 1:** An example of the measuring sequence

The criterion for network quality was cross entropy and accuracy. Accuracy is the percentage of correctly classified observations for all cases. Cross entropy loss between network predictions and target values is defined as  $Loss = -\sum_{i=1}^M T_i \log(X_i)/N$ , where  $N$  – number of observations,  $M$  – number of responses,  $T_i$  – patterns,  $X_i$  – network outputs. Adaptive moment estimation (ADAM) training algorithm [8] was used in the LSTM network. Testing the LSTM network on a set of validation cases showed Accuracy =

0.999 and Loss = 0.0796. Figure 2 presents LSTM network learning waveforms based on Accuracy and Loss. Sigmoid shapes of both curves show no overfitting (no fluctuation).



**Figure 2:** LSTM network learning waveforms based on Accuracy and Loss

## References

1. Mushiri T, Mbowhwa C. Fuzzy Logic Dynamics and Machine Prediction for Failure Analysis. Hershey, USA: IGI Global; 2018.
2. Noh MS, Hong DS. Implementation of remote monitoring system for prediction of tool wear and failure using ART2. Journal of Central South University of Technology (English Edition) 2011; 18(1): 177-183.
3. Elsheikh A, Yacout S, Ouali MS, Shaban Y. Failure time prediction using adaptive logical analysis of survival curves and multiple machining signals. Journal of Intelligent Manufacturing 2020; 31(2): 403-415.
4. Kłosowski G, Rymarczyk T, Gola A, Kłosowski G, Rymarczyk T, Gola A. Increasing the reliability of flood embankments with neural imaging method. Applied Sciences 2018; 8(9): 1457.

5. Rymarczyk T, Kłosowski G, Kozłowski E. A Non-Destructive System Based on Electrical Tomography and Machine Learning to Analyze the Moisture of Buildings. *Sensors* 2018, Vol 18, Page 2285 2018; 18(7): 2285.
6. Scalabrini Sampaio G, Vallim Filho AR de A, Santos da Silva L, Augusto da Silva L. Prediction of Motor Failure Time Using An Artificial Neural Network. *Sensors* 2019; 19(19): 4342.
7. Vališ D, Mazurkiewicz D. Application of selected Levy processes for degradation modelling of long range mine belt using real-time data. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 2018; 18(4): 1430-1440.
8. Kingma DP, Ba JL. Adam: A method for stochastic optimization. In: In 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings. International Conference on Learning Representations, ICLR. International Conference on Learning Representations, ICLR; 2015.



# CZĘSTOTLIWOŚCIOWA CHARAKTERYSTYKA INDUKCYJNOŚCI MASZYNY INDUKCYJNEJ WYZNACZONA NA PODSTAWIE PRÓBY OBCIĄŻENIA LCT PRZEPROWADZONEJ Z WYKORZYSTANIEM OPROGRAMOWANIA ANSYS MAXWELL

Jarosław ROLEK<sup>1</sup>, Grzegorz UTRATA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Świętokrzyska, Kielce

<sup>2</sup>Politechnika Częstochowska, Częstochowa

## Wstęp

Modele matematyczne silnika indukcyjnego (SI) są szeroko wykorzystywane przy realizacji różnych struktur sterowania prędkością i momentem tego typu maszyn, zasilanych z przemienników częstotliwości. Znajomość parametrów elektromagnetycznych modelu matematycznego SI jest zatem nieodzowna w przypadku implementacji tych struktur w układzie napędowym z takim silnikiem, a dokładność ich identyfikacji ma decydujący wpływ na właściwości statyczne i dynamiczne tego układu. Kolejnym problemem związanym z wykorzystaniem modeli matematycznych w strukturach sterowania SI jest zmienność parametrów elektromagnetycznych tych maszyn.

W pracy [1] przedstawiono procedurę identyfikacji parametrów elektromagnetycznych modelu matematycznego z  $N$ -obwodami zastępczymi wirnika, który umożliwia odwzorowanie zmienności parametrów elektromagnetycznych wirnika wynikającej ze zjawiska wypierania prądu w prętach klatki wirnika. Procedura ta bazuje na znajomości charakterystyk częstotliwościowych SI wyznaczanych na podstawie próby obciążenia Load Curve Test (LCT) opisaney w normie [2]. Realizacja próby obciążenia LCT jest jednak trudna w warunkach przemysłowych.

W niniejszej pracy podjęto próbę wykorzystania metod numerycznych analizy pola elektromagnetycznego do przeprowadzenia symulacji próby obciążenia LCT rozpatrywanego SI. Motywację dla takiego podejścia stanowiła potrzeba opracowania metody identyfikacji parametrów elektromagnetycznych modelu matematycznego z wieloobwodowym odwzorowaniem wirnika, stanowiącej alternatywę dla metody bazującej na pomiarowej realizacji próby LCT w warunkach przemysłowych.

## Charakterystyki częstotliwościowe SI

Dane pomiarowe uzyskane w wyniku realizacji próby obciążenia LCT dostarczają informacji na temat zmienności parametrów elektromagnetycznych wirnika w zakresie pulsacji poślizgu wynikającym z zakresu zmian obciążenia SI, który zgodnie z normą [2] wynosi (0.25-1.25) obciążenia odpowiadającego wybranemu punktowi pracy tego silnika. Dane te mogą być wykorzystane do wykreślenia częstotliwościowej charakterystyki indukcyjności SI. Aproksymacja tej wzorcowej charakterystyki za pomocą charakterystyki wynikającej z modelu matematycznego z  $N$ -obwodami zastępczymi wirnika prowadzi do wyznaczenia parametrów elektromagnetycznych takiego modelu [1]. Model matematyczny tego typu może następnie posłużyć do analizy pracy maszyn indukcyjnych charakteryzujących się intensywnym zjawiskiem wypierania prądu w prętach klatki wirnika, jak również przy modelowaniu i realizacji struktur sterowania takich maszyn [3-5]. Na rysunku 1 zamieszczono wzorcową częstotliwościową charakterystykę indukcyjności badanego SI typu Sg 132S-4 wyznaczoną eksperymentalnie w warunkach laboratoryjnych [1]. Charakterystyka ta została wyrażona w funkcji częstotliwości poślizgu.

## Symulacja próby obciążenia LCT przeprowadzona z użyciem pakietu ANSYS

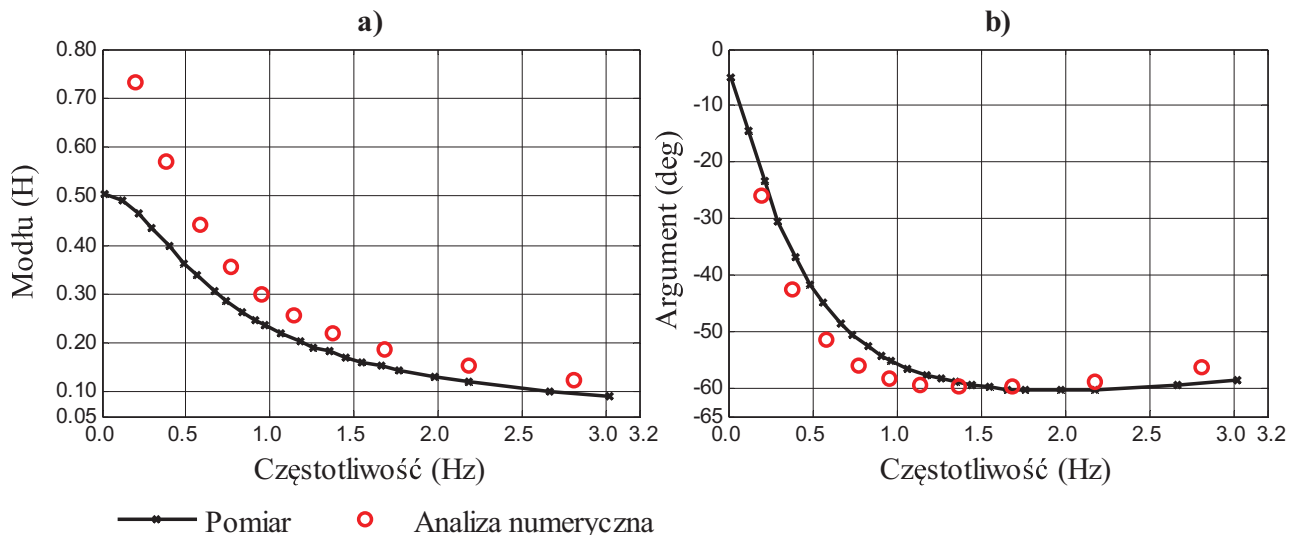
Symulacje próby obciążenia LCT badanego silnika zostały przeprowadzone przy użyciu modułu Transient oprogramowania ANSYS Maxwell. Moduł ten umożliwia modelowanie pracy SI przy wymuszeniu

napięciowym o zadanej amplitudzie i częstotliwości oraz przy zadanym obciążeniu. Takie podejście pozwala odzwierciedlić warunki w jakich pracuje rzeczywista maszyna podczas próby obciążenia LCT.

Na potrzeby budowy modelu połowego należy znać wymiary geometryczne oraz parametry materiałowe poszczególnych komponentów analizowanego SI. Pozwala to na odwzorowanie strat elektrycznych w poszczególnych komponentach badanego silnika. Oddzielnym zagadnieniem jest uwzględnienie strat mechanicznych (wentylatorowych i tarcia). W przeprowadzonej analizie straty te zostały uwzględnione poprzez współczynnik, którego wartość określono zgodnie z wytycznymi producenta oprogramowania.

Przebiegi napięć, prądów oraz prędkości uzyskane z przeprowadzonych symulacji pracy badanego SI przy zadanym momencie obciążenia zostały wykorzystane do wyznaczenia częstotliwościowej charakterystyki indukcyjności SI, zgodnie z procedurą opisaną w [1]. Charakterystyka ta została zestawiona z charakterystyką wzorcową na rysunku 1.

W zakresie obciążeń bliskich znamionowemu (znamionowa częstotliwość poślizgu 1.667 Hz) obserwuje się dobrą zgodność charakterystyk wyznaczonych na drodze pomiarowej oraz w wyniku symulacji pracy maszyny przeprowadzonej z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS Maxwell. Dokładniejsze odwzorowanie charakterystyki wzorcowej poprzez charakterystykę wyznaczoną numerycznie, w szczególności w zakresie niskich częstotliwości poślizgu, poszukiwane jest poprzez wierniejsze odtworzenie start mocy elektrycznej i mechanicznej rzeczywistej maszyny w symulacjach jej pracy przeprowadzanych z wykorzystaniem metod numerycznych.



**Rys. 1.** Częstotliwościowa charakterystyka indukcyjności badanego SI: a) moduł; b) argument

## Literatura

- [1] Rolek, J.; Utrata, G. An identification procedure of electromagnetic parameters for an induction motor equivalent circuit including rotor deep bar effect. *Arch. Electr. Eng.* 2018, 2, 279–291.
- [2] Standard PN-EN 60034-28: 2013, Rotating Electrical Machines – Part 28: Test methods for determining quantities of equivalent circuit diagrams for three-phase low-voltage cage induction motors.
- [3] De Doncker, R.W. Field-oriented controllers with rotor deep bar compensation circuits. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1992, 5, 1062–1071.
- [4] Healey, R.C.; Williamson, S.; Smith, A.C. Improved cage rotor models for vector controlled induction motors. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1995, 4, 812–822.
- [5] Seok, J.K.; Sul, S.K. Pseudorotor-flux-oriented control of an induction machine for deep-bar-effect compensation. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 1998, 3, 429–434.

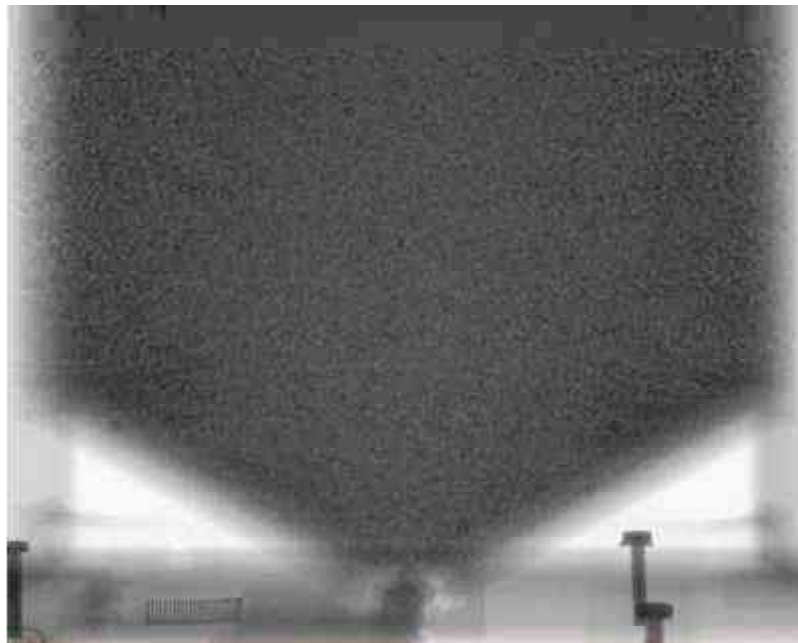
Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# CROWDSOURCING ANNOTATION OF TOMOGRAPHY IMAGES

Andrzej ROMANOWSKI, Andrzej GRABOWSKI, Krzysztof GRUDZIĘ

Lodz University of Technology

There is a class of industrial processes that are difficult to measure and visualize with process tomography modalities. Some of the examples include dense flows of bulk solids particles. These types of conveyed medium are normally well suited to both electrical capacitance tomography (ECT) as well as X-ray industrial tomography imaging modalities. ECT serves well for dynamically changing flow phenomena, however it is difficult to extract high resolution measurement frames with ECT modality. X-ray offers better spatial resolution but lower temporal capabilities. Therefore classically X-ray was employed for studying the detailed nature and behavior of dense flows in controlled settings with notable examples of trace particle studies [1][2]. Fig. 1 shows a single X-ray radiography image taken on a sand particles bulk silo flow.

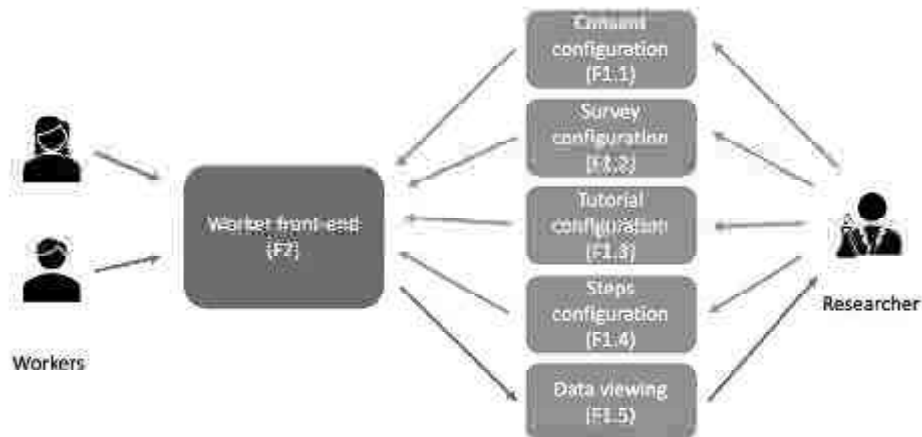


**Figure 1.** Single X-ray radiography image illustrating bulk silo flow. A frame shows a funnel flow and tiny trace particles distributed in the silo filling volume. Trace particles can be seen here as they are represented by the dark spots in different locations within a container picture area.

There are few dozens of metal-made trace particle distributed inside the silo filling to induce proper contrast in order to track movement changes in consecutive measurement frames. Unfortunately even X-ray modality could not provide perfect pictures in terms of time series of consecutive images neither for continuous nor for discrete imaging conditions. Resulting images may miss some features absent in some of the frames. Hence, trace particles may be only partially or not visible at all at some frames [3].

Domain experts have to manually analyze these frame series in an image-by-image, mundane manner since there are hundreds of frames per single experiment. On the other hand it is not possible to reliably process the resulting tomograms in an automatic manner. Classical image processing methods (including artificial intelligence algorithms) were found difficult to provide automated analysis and parameters extraction [4]. Previous work demonstrated that crowdsourcing methods provide help with this task, yet not all the features

specific to a flow patterns can be annotated effectively with currently available crowdsourcing platforms [5]. Fig. 2 presents the workflow of the proposed platform.



**Figure 2.** Crowdsourcing platform data flow among the supervisor, task distribution and end-workers.

This work is a response to ongoing research needs for an effective tool enabling to specifically annotate X-ray images coming from dynamic industrial to conducting research in the area of tomography imaging. We introduced a specific type of semi-free shape graphical annotation tools for the goal of crowd-powered non-expert human operators tomography image processing. The main novelty of this work is the possibility to draw almost arbitrary curve shape in order to process images for different phenomena annotation. This research is validated on exemplary experimental datasets prepared with X-ray industrial tomography system for a dense bulk solids gravitational flow. We show how to determine the difficult features of the examined process in a crowdsourcing environment. Specifically we present the process of funnel flow boundary extraction based on algorithm for automatic aggregation of multi-line imposition.

## Bibliography

- [1] Grudzień K., Niedostatkiewicz M, Adrien J., Tejchman J, Maire E., Quantitative estimation of volume changes of granular materials during silo flow using X-ray tomography, *Chemical Engineering and Processing*, 2010, vol. 50, no. 1, p. 59-67, 2010.
- [2] Chen C., Wozniak P.W., Romanowski A., Obaid M., Jaworski T., Kucharski J., Grudzien K., Zhao S., Fjeld M., Using crowdsourcing for scientific analysis of industrial tomographic images. *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.* 7, 4, Article 52, 25 pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2897370>, 2016.
- [3] Jelliti I., A. Romanowski, K. Grudzien, Design of crowdsourcing system for analysis of gravitational flow using x-ray visualization, in *proc: FedCSIS'16, ACSIS*, vol. 8. IEEE, pp. 1613–1619, 2016
- [4] Grudzień, K., & Torre Gonzalez, M., Detection of tracer particles in tomography images for analysis of gravitational flow in silo, *Image Processing & Communications*, 18(2-3), 11-22, 2013
- [5] Romanowski, A.; Łuczak, P.; Grudzień, K. X-ray Imaging Analysis of Silo Flow Parameters Based on Trace Particles Using Targeted Crowdsourcing. *Sensors*, 19, 3317., 2019

# POMIARY MATERIAŁÓW WYBUCHOWYCH Z UŻYCIEM POJEMNOŚCIOWEJ TOMOGRAFII ELEKTRYCZNEJ

Andrzej ROMANOWSKI, Krzysztof GRUDZIŃ,  
Zbigniew CHANIECKI, Dominik SANKOWSKI

Politechnika Łódzka

Niniejszy artykuł zawiera wstępne wyniki prac badawczych związanych z opracowaniem nieinwazyjnych metod pomiarowych dla celów wykrywania ładunków wybuchowych przy użyciu systemu elektrycznej tomografii pojemnościowej. W literaturze można znaleźć szereg prac zarówno teoretycznych jak i praktycznych, które opisują możliwości zastosowania innych technik pomiarowych do wykrywania min w glebie, jednak zadanie jest na tyle trudne, że do dziś nie udało się znaleźć narzędzia, które wykrywałoby minę z dużą skutecznością w podłożu o różnym składzie i zawilgoceniu [1][2][3][4].

W ramach niniejszych badań zostało przeprowadzonych szereg eksperymentów pomiarowych, zarówno z użyciem próbek materiałów wybuchowych, jak i materiałów referencyjnych (granulat plastikowy HDPE, piasek i drewno) w różnych konfiguracjach i przy wykorzystaniu czujników tomograficznych o geometrii walcowej. Eksperymenty obejmowały pomiary eksperymentalne dla 19 próbek materiałów wybuchowych, a do badań użyto czujnika jednopłaszczyznowego o przekroju okrągłym. Lista próbek materiałów wybuchowych użytych do badań może zostać podzielona na 3 główne grupy: (#1)trotyl próżniowo prasowany (próbki 1-5), (#2) trotyl lany (próbki 6-10), (#3)mieszanka trotylowo-heksogenowa (11-19). Rys. 1 przedstawia fotografię próbek materiałów wraz z przymiarem referencyjnym.



**Rysunek 1:** Fotografia referencyjna rzeczywistych wymiarów próbek materiałów wybuchowych wykorzystanych w pomiarach ECT

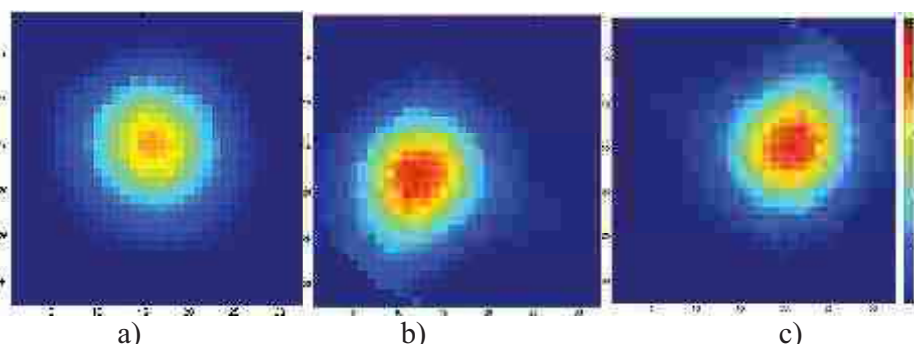
Do pomiarów zastosowano system tomografii pojemnościowej działający w oparciu o zasadę *charge/discharge*. Użyto 12-elektrodowego czujnika cylindrycznego o przekroju okrągłym i wewnętrznej średnicy 70 [mm]. Na rys 2. pokazano schemat zastosowanego czujnika pojemnościowego. Wymiary elektrod: długość 70 [mm], szerokość 15 [mm].

Analizie podlegały zarówno surowe dane pomiarowe jak również zrekonstruowane dwu-wymiarowe obrazy tomograficzne, obrazujące rozkład przenikalności elektrycznej w przekroju czujnika. Przed przystąpieniem do pomiarów przygotowano stanowisko pomiarowe (rys. 2), w skład którego wchodził komputer klasy PC, tomograf pojemnościowy, czujnik pomiarowy, materiały sypkie (piasek, granulaty HDPE). Eksperymenty, ze względu na bezpieczeństwo, przeprowadzono według odpowiednio opracowanych procedur.



**Rysunek 2:** Schemat zastosowanego czujnika ECT (po lewej) oraz fotografia stanowiska badawczego (po prawej)

Przykładowe wyniki obrazowania zostały pokazane na rys. 3 – obrazują one pozycje próbek zarówno referencyjnych jak również pomiarową dla materiałów wybuchowych.



**Rysunek 3.** Zrekonstruowany obiekt (materiał referencyjny drewno) w obszarze przyściennym pomiarowego czujnika ECT, a) pozycja położenia próbki w centrum czujnika, b, c) pozycja położenia próbki w różnych obszarach przyściennych czujnika ECT, zachowujących te same warunki pomiaru

Zaprezentowane badania wstępne wskazują na podstawowy wniosek, że wykrywanie badanych materiałów wybuchowych przy użyciu ECT jest możliwe, jednak wskazane są dalsze prace, aby ocenić zakres stosowalności tej technologii we wskazanym obszarze.

#### Literatura

- [1] Janczulewicz A., Analiza właściwości tomografii elektryczno-magnetycznej w zastosowaniu do wykrywania obiektów ukrytych w gruncie, rozprawa doktorska, Politechnika Gdańska, 2009.
- [2] Sato M., Principles of Mine Detection by Ground-penetrating Radar, eds. Katsuhisa Furuta, Jun Ishikawa, Anti-personnel Landmine Detection for Humanitarian Demining, Springer London Ltd, 2009.
- [3] Zainud-Deen S. H., Badr M. E., Ali E. M., Awadalla K. H., and Sharshar H. A., Effects of soil physical properties on landmines detection using microstrip antenna as a sensor, Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 7, 13-24, 2009
- [4] Rymarczyk T., New Methods to Determine Moisture Areas by Electrical Impedance Tomography'. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics 1 .pp 79 – 87. 2016.

# COMBINING ECT TOMOGRAPHY AND AUGMENTED REALITY FOR IMPROVED ON-SITE INDUSTRIAL INSPECTIONS

Andrzej ROMANOWSKI, Adam NOWAK, Mikołaj WOŹNIAK,  
Aleksandra KORALCZYK, Krzysztof GRUDZIĘ

Lodz University of Technology

Industrial process maintenance and control cannot be fully automatized in most cases [1]. It may be due to ever-changing production parameters, varying quality and type of production materials, components and supplies, variable current conditions, etc. Providing essential process parameters with the aid of non-intrusive tomography measurement systems may significantly facilitate the industrial flow diagnostics and control. However, even delivering on-the-fly image reconstruction streams may not be sufficient to revoke human inspection necessity. Therefore there is a need to retain specialized personnel both for scheduled inspection as well as in case of suddenly required on-site interventions [2].

In this paper we explore possibilities of enhancing the fundamental advantage of process tomography systems, i.e. visualization of the internal ongoing processes' phenomena. We test how augmented reality (AR) technology facilitates process of on-site analysis of the electrical capacitance tomography measurement data [3]. Our goal is to speed up the on-site analysis time and raise the level of self-confidence of the professional personnel during the industrial flow rig inspection time. We aim to investigate the process of pneumatic flow of bulk solids monitored with ECT. In order to verify the potential benefits of AR technology coupled with ECT data we implemented a prototype application for a Hologens glasses head mounted device (HMD) [4] that displays basic parameters and information relevant to the monitoring of the ongoing flow as shown on Fig. 1.



**Figure 1.** Holographic visualization of important flow parameters extracted from ECT measurements. Left: Silo container feeding parameters seen as by holographic HMD operator. Right: holographic display of the vital parameters of pneumatic conveying of bulk solids within a pipeline.

We obtained both quantitative and qualitative results through the user study conducted in a controlled settings. The study commenced in a semi-industrial Tom Dyakowski Process Tomography Lab at the Lodz University of Technology [5]. We found that although people are not used to neither AR nor wearing HMD devices but both task completion times as well as self-confidence reported by the users were improved while the same level of analysis accuracy was preserved.

## Bibliography

- [1] J.C.Gamio,J.Castro,L.Rivera,J.Alamilla,F.Garcia-Nocetti,andL.Aguilar.2005. Visualisation of gas–oil two-phase flows in pressurised pipes using electrical capacitance tomography. *Flow Measurement and Instrumentation* 16, 2, 129 – 134. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2005.02.011> Tomographic Techniques for Multiphase Flow Measurements., 2005.
- [2] Hutter M. et al., Towards a Generic Solution for Inspection of Industrial Sites. In: Hutter M., Siegart R. (eds) *Field and Service Robotics*. Springer Proceedings in Advanced Robotics, vol 5. Springer, Cham, 2018.
- [3] Markus Funk, Thomas Kosch, and Albrecht Schmidt, Interactive Worker Assistance: Comparing the Effects of in-Situ Projection, Head-Mounted Displays, Tablet, and Paper Instructions. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing (Heidelberg, Germany) (UbiComp '16)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 934–939. <https://doi.org/10.1145/2971648.2971706>, 2016
- [4] P.Fraga-Lamas,T.M.Fernández-Caramés,Ó.Blanco-Novoa,andM.A.Vilar- Montesinos, A Review on Industrial Augmented Reality Systems for the Industry 4.0 Shipyard. *IEEE Access* 6 (2018), 13358–13375. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2808326>, 2018.
- [5] A. Romanowski, Contextual Processing of Electrical Capacitance Tomography Measurement Data for Temporal Modeling of Pneumatic Conveying Process. In *2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS)*. 283–286, 2018.



# POMIARY PRZENIKALNOŚCI ELEKTRYCZNEJ W WYSOKOMOCOWYCH POLACH ELEKTROMAGNETYCZNYCH

Karol RUDYK, Roman KUBACKI, Marek KUCHTA

Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa

## Wstęp

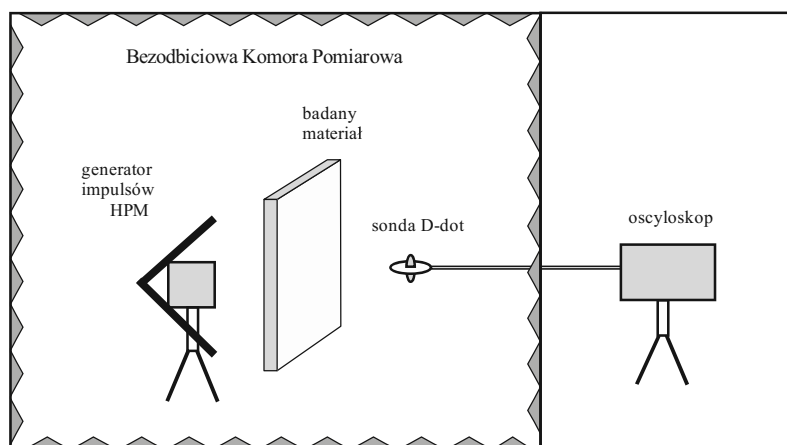
Przenikalność elektryczna jako parametr jest jednym z istotniejszych parametrów w technice pól elektromagnetycznych i elektronice małych i wielkich częstotliwości. Wartość tego parametru wpływa na parametry kabli, ścieżek złożonych układów i pojemności kondensatorów. Układy mikrofalowe pasywne i aktywne nie mogłyby istnieć bez precyzyjnego wyznaczenia przenikalności w funkcji częstotliwości. Istnieje szereg metod pomiarowych dla różnego rodzaju materiałów w różnych zakresach częstotliwości. Żadna z metod wymienionych nie uwzględnia jednak wpływu amplitudy na ten parametr, a pomiary prowadzone są w warunkach fali ciągłej przy niewielkich mocach fali padającej. Istnieją zastosowania materiałów dielektrycznych w urządzeniach pracujących z wielkimi amplitudami sygnałów, dla których przenikalności muszą być mierzone precyzyjnie w warunkach pracy urządzenia. W niniejszym artykule przedstawiono propozycję pomiarów przenikalności elektrycznej w polach wysokiej mocy.

## Metoda pomiaru przenikalności elektrycznej

W zakresie mikrofalowym metody pomiarów przenikalności elektrycznej można podzielić na trzy grupy, mianowicie na pomiary w oparciu o linie transmisyjne, układy rezonansowe oraz pomiary w wolnej przestrzeni. Linie transmisyjne oraz pomiary w wolnej przestrzeni umożliwiają pomiary próbek materiałów w szerokim zakresie częstotliwości. Najczęściej badania przenikalności prowadzi się w oparciu o pomiar współczynników macierzy rozproszenia. Na podstawie zespolonych wartości współczynników macierzy rozproszenia można wyznaczyć wartości przenikalności na podstawie zależności analitycznych przedstawionych w pracach [1, 2]. Wadą tego rozwiązania jest niejednoznaczność wyników spowodowanych wieloznacznością logarytmu liczb zespolonych. Ułomność tą można ominąć stosując porównanie prędkości grupowej i fazowej fali przechodzącej przez próbkę badanego materiału. Powszechnie stosowanymi metodami pomiarów przenikalności elektrycznej są układy bazujące na liniach współosiowych. W tym przypadku materiał do pomiarów ma kształt toroidu. Warunki padania pola elektromagnetycznego są zbliżone do warunków wolnej przestrzeni – TEM (z ang. Transverse ElectroMagnetic), z tą różnicą, że wektory pola elektrycznego mają kierunki radialne, co sprawia, że w przypadku wysokich natężeń pól występuje duże natężenie pola w pobliżu przewodu wewnętrznego. Wady tej pozbawione są pomiary w falowodach prostokątnych, jednakże pomiary odbiegają od pomiarów w wolnej przestrzeni, a fala padająca jest typu TE lub TM. Pamiętać również należy, że rozmiary falowodów prostokątnych w zakresie megahercowym są bardzo duże, co utrudnia realizację pomiarów.

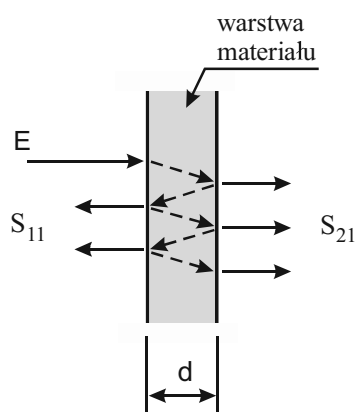
Pomiary w wolnej przestrzeni w warunkach „normalnie” padającej fali mają charakter TEM, gdzie wektory E i H padającej fali są równoległe do płaszczyzny badanego materiału. Największym problemem w pomiarach wolno-przestrzennych są trudności z kalibracją całego toru pomiarowego co rzutuje na bardzo duże błędy pomiaru fazy. Dużym problemem są również błędy związane z odbiciami od ścian, podłogi i sufitu, które mają miejsce nawet w „dobrych” komorach bezodbiciowych.

W pracy przedstawiono metodę pomiaru przenikalności elektrycznej w warunkach wolnej przestrzeni z wykorzystaniem okna w dziedzinie czasu, co pozwala uniknąć promieni odbitych od ścian bocznych, podłogi i sufitu. Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rys. 1. W pomiarach wykorzystano wysokomocowe impulsy HPM (z ang. High Power Microwaves) wytwarzane w generatorze Marksa. Impulsy były mierzone z wykorzystaniem sondy D-dot umożliwiającej pomiary wysokich wartości natężeń pól.



Rys. 1. Schemat pomiarowy

W analizie zagadnienia wykorzystano zasadę wielokrotnych odbić w warstwie materiału. Na rys.2 przedstawiono schematycznie zasadę wielokrotnych odbić dla przypadku fali padającej „normalnie” – rodzaj TEM.



Rys. 2. Wielokrotne odbicia w warstwie materiału

Stosując transformatę Fouriera oraz teorię splotu można otrzymać zależności na przenikalność elektryczną badanego materiału. W badaniach można wykorzystać warunki wysokich wartości natężenia pola elektrycznego, rzędu setek kV/m.

## Literatura

- [1] Nicolson A.M., Ross G.F., “Measurement of the intrinsic properties of materials by time domain techniques”, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 19 (1968), pp. 377-382.
- [2] Weir W.B., “Automatic measurement of complex dielectric constant and permeability at microwave frequencies”, Proc IEEE vol. 62 (1974), pp. 33-36.

# EXAMINATION OF THE IMPACT OF TANK MATERIAL ON ULTRASONIC MEASUREMENTS USING A PROTOTYPE ULTRASOUND TOMOGRAPH MEASURING CARD

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Michał GOŁĄBEK<sup>1</sup>, Paweł RYMARCZYK<sup>1</sup>,  
Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>1,2</sup>, Konrad NIDERLA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology

## Introduction

Ultrasound tomography enables the analysis of processes occurring in the object, analysis and detection of obstacles, defects and various anomalies. The designed measuring system is an innovative solution, especially effective in data analysis. Knowledge of the features of each tomographic technique solution, the application allows you to choose the appropriate method of image reconstruction. Various methods can be used to solve the optimization process.

## Measurements

The tests were carried out using a prototype measuring card for an ultrasonic tomograph, which was connected using the FD CAN 8MBPS bus with the module board with the FT811 LCD display with the STM32H7 microcontroller. For the purposes of research and works related to the commissioning and testing of measuring cards, a touch interface for their control was made, from which the following parameters can be changed:

- Positive voltage level (0V, + 24V, + 48V, + 72V)
- Negative voltage level (0V, -24V, -48V, -72V)
- Analog signal sampling frequency
- Number of analog signal samples
- Transmitter keying frequency
- Number of pulses
- Pulling to ground after keying
- Strengthening the AD8331 system (1st degree)
- Strengthening of the built-in amplifier in STM32 (2 degrees)
- Control of three built-in bandpass filters adapted to the ultrasonic transducers used
- Control of the signal processing circuit with the appropriate filtering for the converters used
- Selecting the broadcast channel (1,2,3,4)

Module with FT811

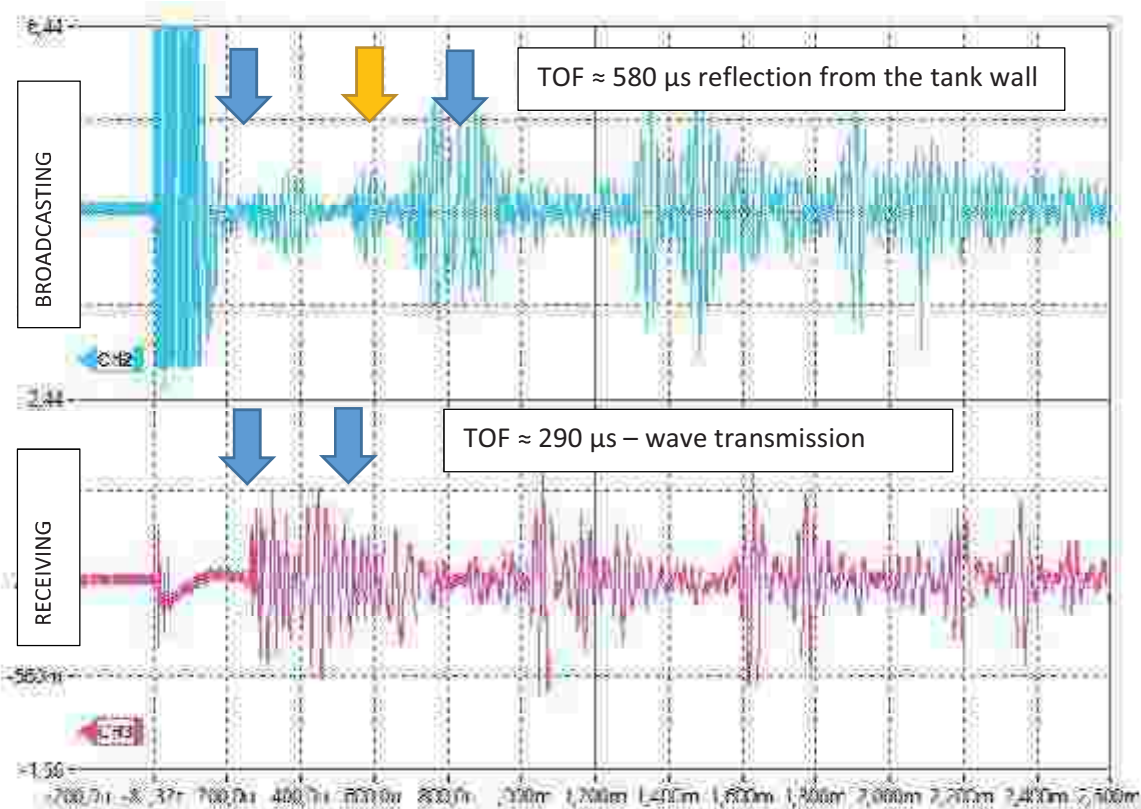


**Fig. 1.** Module with FT811 display and STM32H7 microcontroller and high voltage converter module

Tests on the acrylic glass tank



**Fig. 2.** Tested tank and measuring sensors



**Fig. 3.** Two 40kHz transducers located opposite each other, a tank filled with water, a 70% sucrose phantom with a diameter of 40mm in the middle, acrylic glass

## References

- [1] Golabek M., Rymarczyk T., Adamkiewicz P., Construction of ultrasonic reflection tomograph for analysis of technological processes, 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine, PTZE 2019, 2019, 47-51
- [2] Herman G.T., Image Reconstruction from Projections: The Fundamentals of Computerized Tomography, Academic Press, New York, 1980.
- [3] Rymarczyk T, Kłosowski G. Innovative methods of neural reconstruction for tomographic images in maintenance of tank industrial reactors. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*, 21 (2019); No. 2, 261–267
- [4] Wang M., *Industrial Tomography: Systems and Applications*, Elsevier, 2015.
- [5] Jiang Y., Soleimani M., Wang B., Contactless electrical impedance and ultrasonic tomography, correlation, comparison and complementary study, *Measurement Science and Technology*, 30 (2019), 114001

# BLOCK-WISE-TRANSFORM-REDUCTION FOR IMAGE RECONSTRUCTION IN ULTRASOUND TOMOGRAPHY

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Konrad KANIA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

## Introduction

The basic problem of all non-ionizing tomography is a small number of measurements in relation to the number of reconstructed image pixels. From a mathematical point of view, this leads to the need to solve systems of extremely indeterminate equations. Due to the above feature, the solution that minimizes the reconstruction mean square error is not an unambiguous solution, and moreover, the rare matrices obtained in the equations are numerically very weakly numerically conditioned, which makes it difficult to determine the inverse operator.

The basic idea of the BWTR method is to note that instead of trying to reconstruct the entire image pixel by pixel inaccurately, you could reduce the number of unknowns by applying lossy image compression.

This work presents how to transform the original system (reconstructing image pixels) to a smaller system (reconstructing compressed image), so that the compression process is directly connected to the reconstruction process, so that at the stage of reconstruction there is never a need to reconstruct an uncompressed image.

According to the method name, the compression technique used is to divide the image into square blocks and apply a transform (allowing compression) on each block separately. For the purposes of this work, a discrete cosine transform (DCT) was used for compression. In this work, tomograms with a resolution of 64x64 pixels, divided into blocks of 8x8 pixels, were the starting point. Which gives a total of 64 blocks spread over a 8 by 8 grid. It has been verified that the use of block transform allows for effective compression and decompression of typical tomograms, which gave rise to tests on real measurement data.

As demonstrated by the examples presented on real data from transmission ultrasonic tomography, the results obtained in this way do not differ in quality from reconstruction with other, more classic methods, and thanks to the method used we can operate on smaller systems of equations, which, due to the significant reduction of unknowns in equations, simplifies the process of regularization

In addition, it saves memory because we can archive the results directly in a compressed form, without having to compress them on the server side), thanks to which we can obtain an archivable result in a shorter time, due to the reduced systems of equations. These features make the presented method ideally suited to real-time imaging in distributed systems, reducing the amount of data necessary for transmission from measuring systems: we locally solve a smaller system of equations quickly and we can send it to a server without additional compression, where it will also not need further compression.

## Discrete cosine transform

Base images  $F_{pq}$  in DCT are described by equations:

$$F_{pq} = \alpha_p \alpha_q \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}$$

$$\alpha_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & p = 0 \\ \sqrt{2/M} & 1 \leq p \leq M-1 \end{cases}$$

$$\alpha_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N} & q = 0 \\ \sqrt{2/N} & 1 \leq q \leq N-1 \end{cases}$$

Block  $A$  in the canonical base it is also a matrix containing coefficients in this base, while the matrix of coefficients in the DCT base can be described by equations

$$B_{pq} = \alpha_p \alpha_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{\pi(2m+1)p}{2M} \cos \frac{\pi(2n+1)q}{2N}$$

### Results

On the left, in Figure 1, there is a synthetic image that looks like the perfect reconstruction of two inclusions in a circular hole. On the right is the image obtained by compressing the image on the left (up to three coefficients for each 8x8 pixel block) without any additional treatment. As you can see the picture leaves a lot to be desired, but the position of the holes is roughly preserved. Above the images is the entropy value calculated for the given image.

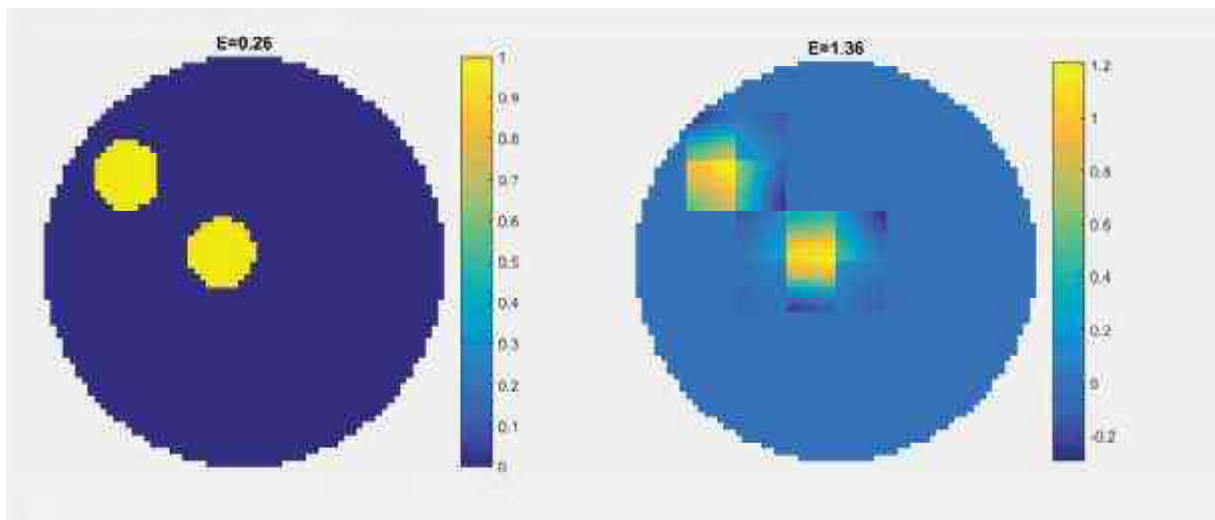


Fig. 1. Direct decomposition

The resulting image from direct decomposition can be subjected to filtration, high-pass filter and then segmented (Figure 2)

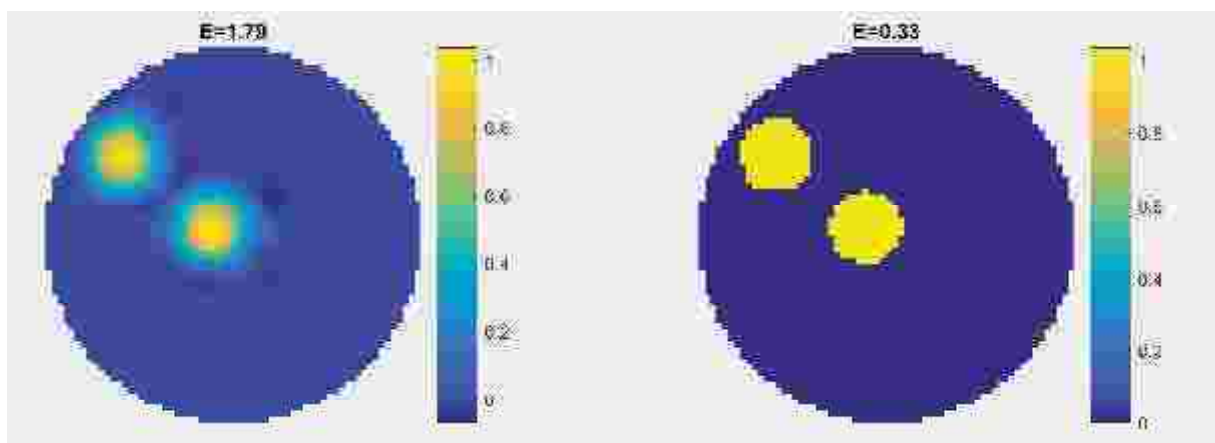


Fig. 2. Filtering and image segmentation

**References**

- [1] Herman G.T., Image Reconstruction from Projections: The Fundamentals of Computerized Tomography, Academic Press, New York, 1980.
- [2] Polakowski K., Sikora J., Podstawy matematyczne obrazowania ultradźwiękowego, Politechnika Lubelska, Lublin, 2016.
- [3] Kaczmarz S., Angenäherte Auflösung von Systemen Linearer Gleichungen, Bull. Acad. Polon. Sci. Lett. A, 6–8A (1937), 355–357.
- [4] Kak A.C., Slaney M., Principles of Computerized Tomographic Imaging, IEEE Press, New York, 1999.
- [5] Nityananda R., Samuel J., Fermat's principle in general relativity, Physical review D: Particles and fields, 1992.



# TOMOGRAPHIC ULTRASONIC SENSORS IN INDUSTRIAL APPLICATIONS

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>2</sup>, Konrad KANIA<sup>2</sup>, Mariusz MAZUREK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology

<sup>4</sup>Institute of Philosophy and Sociology of the Polish Academy of Sciences, Warszawa

The article presents the original concept of a cyber-physical system [1-2] equipped with the tomographic device [3-4] for the visualization of industrial processes. The concept was presented in various cross-sections, taking into account both the hardware and communication layer, data transfer and management of the cyber-physical system (Fig.1-2). The concept of the system for acquisition, processing, data collection and analysis in cloud computing was also presented.

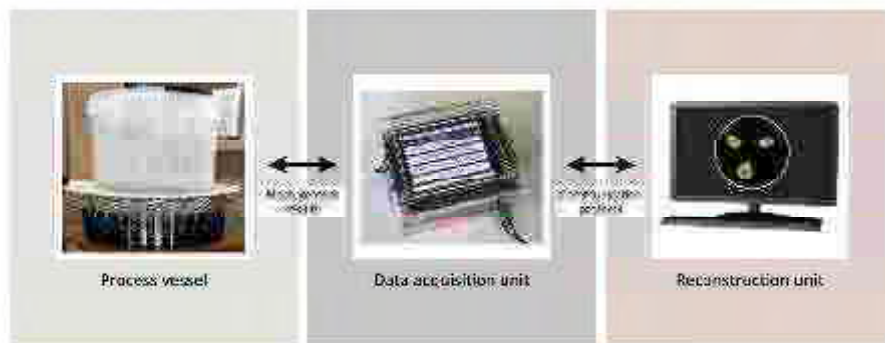


Fig. 1. Measurement model for ultrasound tomography

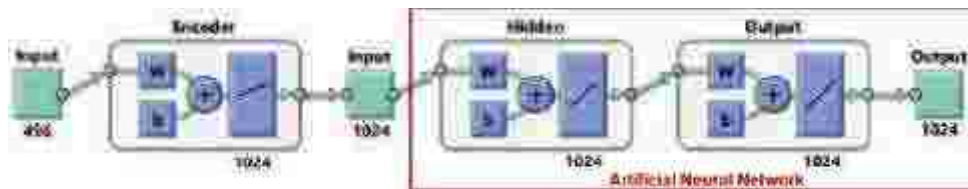


Fig. 2. Monitoring, analysis and control processes in the test tank by tomographic methods

Apart from a comprehensive concept of a system enabling constant monitoring of industrial processes, the article presents the results of research on the use of ultrasound tomography. The collected ultrasound

measurements were processed with two types of algorithms. The first presented algorithm called RayIntegration is a deterministic algorithm. The second algorithm is based on artificial intelligence (ANN). The RayIntegration algorithm gives good reconstructions, but the condition for obtaining them is a precise calibration of the devices made before each series of measurements. This is troublesome because the calibration is performed on an empty tank. In laboratory conditions, calibration is not difficult, but in industrial conditions, frequent calibration can be difficult.

Artificial neural network (ANN) does not require such frequent calibration – which is its advantage. ANN has been enriched with an autoencoder for denoising the input data (Fig. 3).



**Fig. 3.** ANN with autoencoder structure

In the presented research ultrasound tomography was used to identify hidden inclusions in a tank filled with water. The input vector contained 496 measurements, which were characterized by a certain level of noise. The noise was caused by errors and inaccuracies in the measuring equipment, as well as interference in the way the data was transmitted between the components of the measuring system.

Research has shown that using ANN in combination with an autoencoder, the reconstruction images are of good quality. It was found that sparse encoder placed prior to ANN inputs significantly improves the quality of measurement data. Furthermore, the use of the encoder equipped with a sufficiently large number of neurons allows the transformation of an undercompleted problem into an over-completed one, which significantly improves the reconstruction results. The research has confirmed that the use of rare autoencoders can significantly improve tomographic imaging performance. As a result, the UST method, which is still not very popular, can be successfully used in process industry.

### Literature

- [1] Monostori L.: Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges,” in *Procedia CIRP*, 2014, pp. 9–13.
- [2] Repta D., Sacala I. S., Moisescu M. A., and Stanescu A. M.: Towards the development of a Cyber-Intelligent Enterprise system architecture,” in *IFAC Proceedings Volumes (IFAC-PapersOnline)*, 2014.
- [3] Rymarczyk T., Kłosowski G.: Innovative methods of neural reconstruction for tomographic images in maintenance of tank industrial reactors, *Eksplatacja i Niezawodność - Maintenance and Reliability* 21(2), pp. 261–267, 2019.
- [4] Rymarczyk T.: Characterization of the shape of unknown objects by inverse numerical methods, *Electrical Review*, vol. 88, no. 7, pp. 138–140, 2012.

# IMAGE RECONSTRUCTION IN ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY USING RECONFIGURABLE FPGA SYSTEM

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Amelia KOSIOR<sup>1</sup>, Paweł TCHÓRZEWSKI<sup>1</sup>, Andres VEJAR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

## Introduction

Specialized equipment is required to study excitation waves in electric tomography. Since the main principle of tomography is to measure electrical disturbances on an unknown object, it is very important to synchronize the excitation and detection processes in a very precise way. To deal with this problem, an FPGA device with a special architecture was used, which allows the triggering of excitation signals and the simultaneous reading of detected data through independent processes that share the same clock. In this way, reconfiguration of the wave shape into frequency and shape can be ensured and investigated. The system is connected to a standard SoC microcontroller with a simple API interface that allows IoT to be operated and tracked online, given that the design is intended for in vivo medical monitoring. Surface data is analyzed, and image reconstruction is carried out and presented together with a discussion of the specific features and benefits of the built device.

Moderate to low energy tomography techniques are important for the future of medical imaging, especially for secure in vivo data collection and prolonged continuous monitoring. Standard computed tomography X-ray scanning (CT), positron emission tomography (PET) or magnetic resonance imaging (MRI) do not apply to long-term studies, given their dimensions, patient-limited conditions and the negative effects of the

continuous exposure of their excitation methods. Currently, two low-energy methods are most commonly studied: echotomography and electrical impedance tomography. These techniques are non-invasive, given that transmitters and sensors need to be placed only on the surface (skin) to obtain an internal distribution of acoustic or electrical impedance, which then translates into a medical picture. It has been proven that electrical echography / tomography techniques are successfully used in many cases described in the literature. From a medical point of view, these techniques are essential to provide functional information about the patient and are particularly useful in monitoring the circulatory system and lungs.

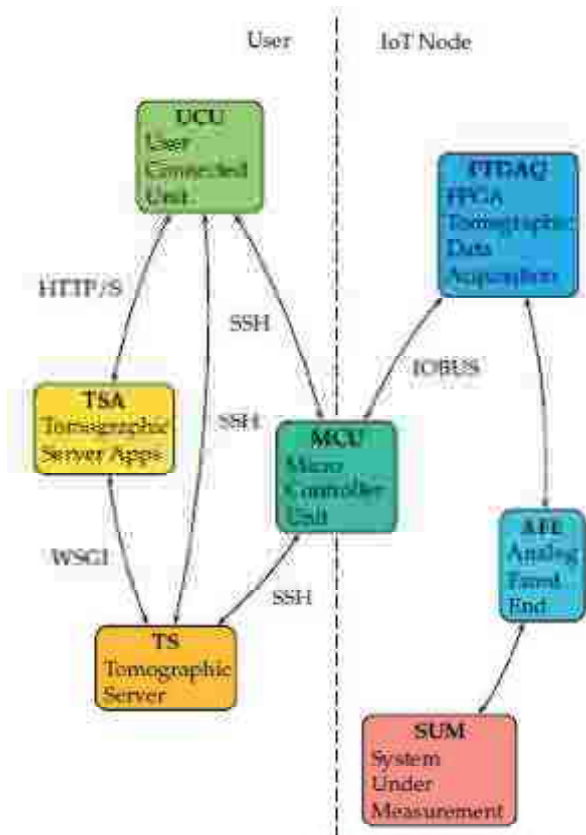
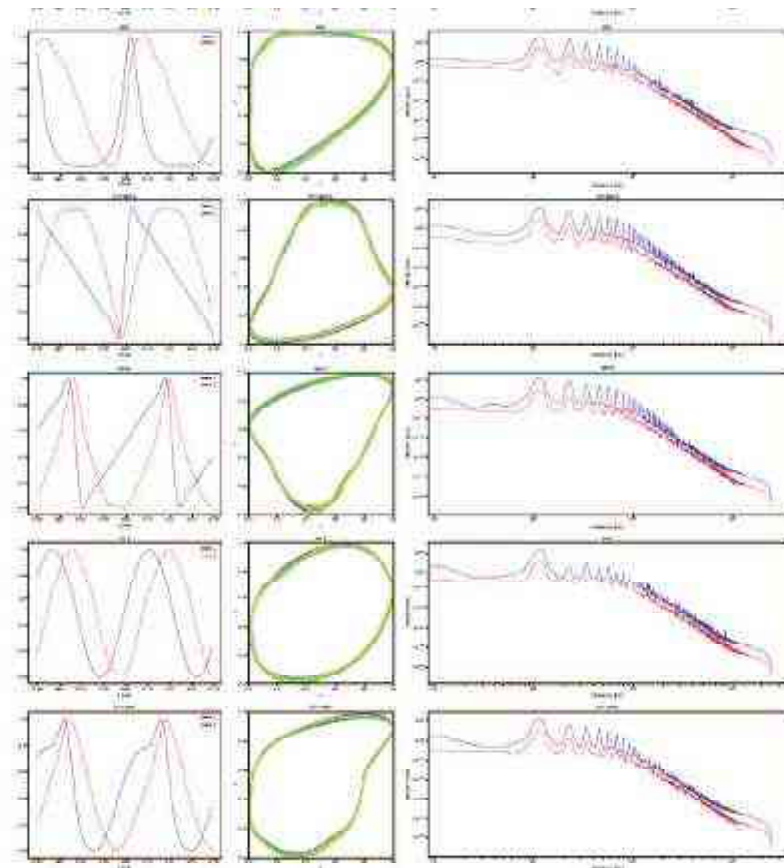


Fig. 1. TODO: Modify. Medical monitoring platform, building blocks

## Implementation

Network applications are launched in the TS block, in this case using the web server gateway interface (WSGI). Advanced users can also have direct access to the MCU, the microcontroller unit, which is the interface to the data acquisition system and gateway for the IoT node. In the MCU block, the tomographic application programming interface (TAPI) stores user-friendly high-level programming functions to interact with the FTDAQ block data acquisition process. Data acquisition is started by the MCU using the default configuration or the user-customized configuration via TS - MCU or UCU - MCU. Using the TAPI interface, the configuration is loaded into FTDAQ, and the experiment data can be read from the FTDAQ memory to the MCU and directly saved in the TS database. In our system we consider 16 electrodes with a configuration that complies with ABMN convention, where AB is excitation pair and MN is sensing pair. The electrode global index  $i = 1 \dots 16$ , where for each electrode type  $T \in \{A, B, M, N\}$  we have  $t_j \in T$  elements with  $j = 0 \dots 3$ , which is mapped as follows:



**Fig. 2.** Excitation response for six different waveforms, amplitude scaled between 0 and 1. First column: time series of excitation (blue) and response (red). Second column: phase portrait ( $u, y$ ), colored by time from blue to yellow. Third column: log-log plot of power spectral density of excitation (blue) and response (red)

## References

- [1] Rymarczyk, T.; Vejar, A.; Nita, P.; Tchórzewski, P. Advanced tomographic platform for real-time image reconstruction and biomedical signal analysis. 2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPHDW), 2018, pp. 186–190. doi:10.1109/IIPHDW.2018.8388354.
- [2] Wu, Y.; Jiang, D.; Bardill, A.; de Gelidi, S.; Bayford, R.; Demosthenous, A. A High Frame Rate Wearable EIT System Using Active Electrode ASICs for Lung Respiration and Heart Rate Monitoring. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers* 2018, 65, 3810–3820.
- [3] Khan, S.; Manwaring, P.; Borsic, A.; Halter, R. FPGA-Based Voltage and Current Dual Drive System for High Frame Rate Electrical Impedance Tomography. *IEEE Transactions on Medical Imaging* 2015, 34, 888–901.

# PROBIT REGRESSION APPLICATION INTO SEEPAGE IDENTIFICATION OF EMBANKMENT

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Edward KOZŁOWSKI<sup>3</sup>,  
Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>3</sup>, Tomasz CIEPLAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology

## Introduction

To recognize the seepage of embankment the imaging domain was modelled as a grid, which consists in a set of the finite elements. For each finite element we created a model, which presents a dependence between signal obtained from electrodes and conductivity. In analyzed case the conductivity other than the background was associated with water concentration. Main aim is to recognize the area of flooded embankment. To perform this aim for each finite element the probit model (see e.g. [1], [2], [3], [4]) was determined. These models allowed us to calculate probabilities of conductivity other than background for each finite element. Based on this approach we determine the resolution in the imaging domain thus reconstruct the grid. In addition, the resolution of imaging domain depends on classification level, which demarcates the occurrence of the conductivity other than the background. By analyzing ROC ([5], [6]) for each finite element it was determine the classification level (as boundary probability of conductivity of seepage).

In EIT during images reconstruction it should be described the possibilities of finding seepage (moisture, inclusions) in the imaging domain also. To denote the correctness of classifier based on application a probit regression (see e.g. [5], [6]) we determine the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve. This curve shows the relationship between sensitivity and specificity during reconstruction. In Figure 1, the diagonal line describes the strategy based on guessing. In the case where ROC is located above the diagonal, this means that the recognition technique is definitely better than guessing. The area under the ROC curve in literature is called AUC (Area under ROC curve) and means a measure of predictability.

## Results

The model of embankment with 16 electrodes located on the outside is presented in Figure 1. This model contains 9853 finite elements. After obtaining the signal from electrodes (signal contain 96 measurements) the main aim consists in reconstruction of the seepage of flood embankment. For each finite element it was created the probit models. To reduce the number of input variables for probit model it was implemented two tools: regularization based on elasticnet and principal component analysis. The parameter estimation was carried out on 11924 cases ( $n = 11924$ ), where one of them contains reference measurements (for reference measurement we have no inclusions in the imaging). In addition, it was analyzed a principal component. From figure 2 we see, that about 20 principal components explain almost 100% variance of measurements obtained from electrodes.

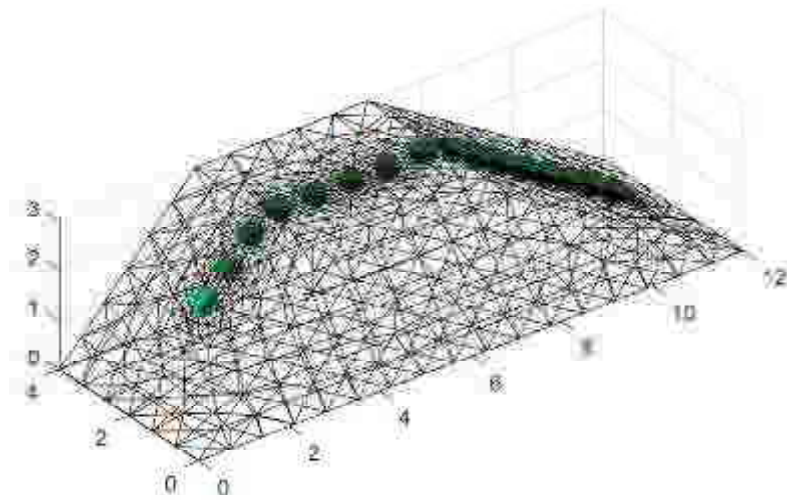


Fig. 1: Model with 16 electrodes

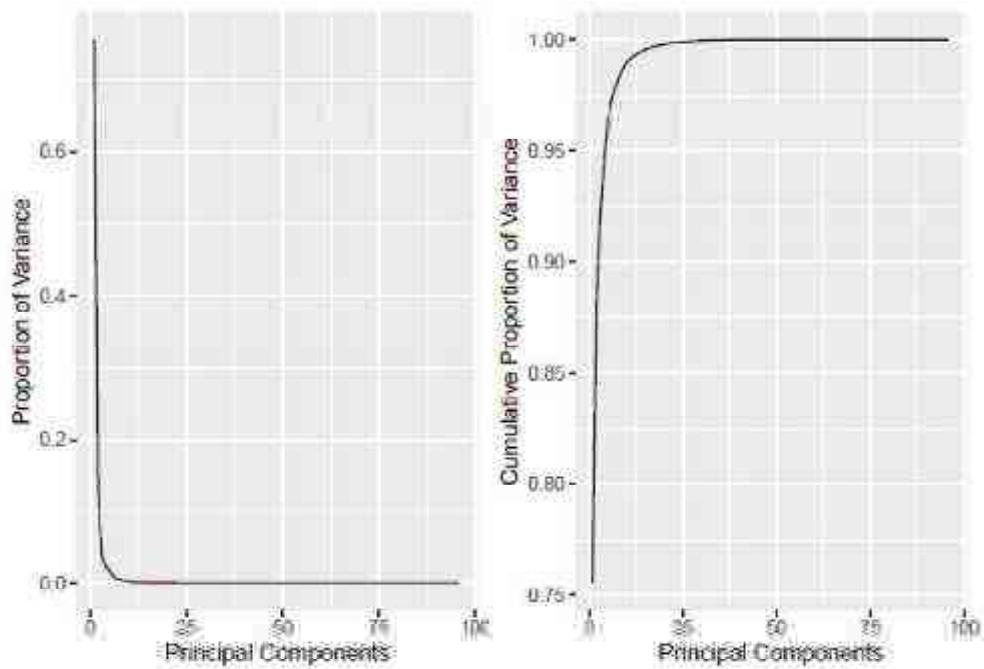


Fig. 2: Principle compontens analysis

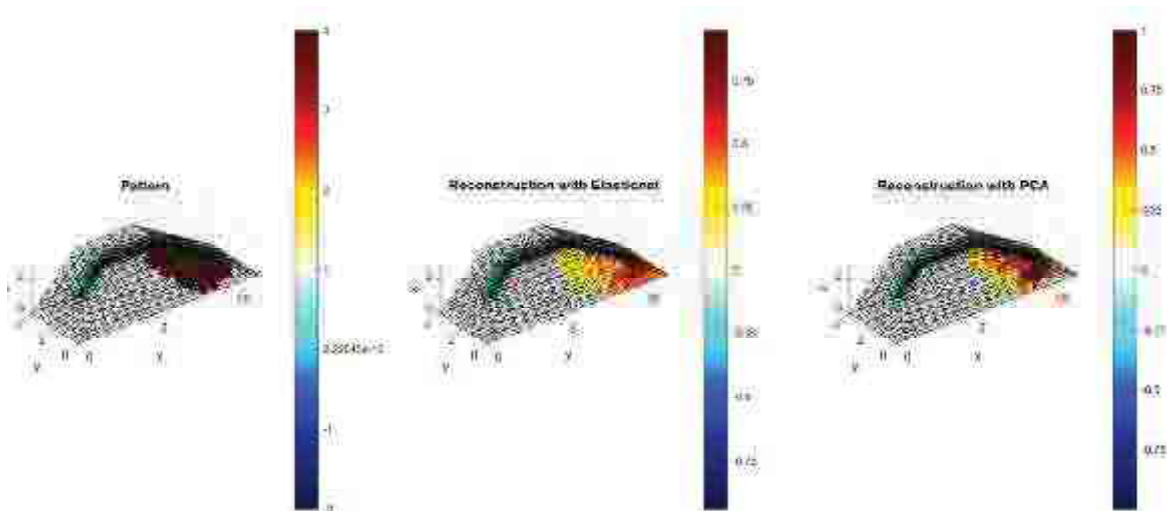


Fig. 3: Image reconstruction

## References

- [1] J.H. Aldrich, F.D. Nelson, E.S. Adler, *Linear probability, logit, and probit models*, Sage, 1984.
- [2] V.K. Borooah, *Logit and probit: Ordered and multinomial models*, Sage, 2002.
- [3] D. Collett, *Modelling binary data*, Chapman; Hall/CRC, 2002.
- [4] T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, *The elements of statistical learning*, Springer-Verlag New York Inc., 2009.
- [5] T. Fawcett, An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters*. 27 (2006).
- [6] D.J. Hand, R.J. Till, A simple generalisation of the area under the roc curve for multiple class classification problems, *Machine Learning*. 45 (2001) 171–186.
- [7] C. Ai, E.C. Norton, Interaction terms in logit and probit models, *Economics Letters*. 80 (2003) 123–129.
- [8] X.G.S. Xin Yan, *Linear regression analysis*, World Scientific Publishing Company, 2009.
- [9] H. Zou, T. Hastie, Regularization and variable selection via the elastic net, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*. 67 (2005) 301–320.
- [10] G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani, *An introduction to statistical learning*, Springer-Verlag GmbH, 2013.
- [11] R. Tibshirani, Regression shrinkage and selection via the lasso, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*. 58 (1996) 267–288.
- [12] Friedman, T. Hastie, R. Tibshirani, Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent, *Journal of Statistical Software*. 33 (2010) 1.
- [13] R. Wehrens, *Chemometrics with r*, Springer-Verlag GmbH, 2011.
- [14] D.W. Hosmer Jr, S. Lemeshow, R.X. Sturdivant, *Applied logistic regression*, John Wiley.& Sons, 2013.

# THE USE OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND ELASTICNET IN LOGISTIC REGRESSION TO IDENTIFY THE LOCATION OF OBJECTS IN THE EIT

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Edward KOZŁOWSKI<sup>3</sup>,  
Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>3</sup>, Tomasz CIEPLAK<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup> Lublin University of Technology

## Introduction

Electrical impedance tomography is a non-destructive method of creating image reconstruction in various areas of application. The main purpose of tomography depends on image reconstruction, which is directly related to the reverse solution of the problem. Some signals obtained from electrodes and transducers are mutually correlated. The study proposes an analysis of the main components and elasticnet in logistic regression to identify the location of objects. Areas with a high probability of inclusion are determined based on measurements obtained from transducers located on the border of the imaging domain. By setting the cutoff probability level, we can create a classifier that helps to separate the background and enable. Additionally, by changing the required probability level, we can improve the imaging accuracy. The problem of image reconstruction in electrical impedance tomography is both to make measurements using a set of sensors and to create a reconstruction based on these measurements. Image reconstruction requires accurate modeling of the area that represents the field of view.

## Image reconstruction

The model of the area with 16 electrodes on the outside and the measurements obtained from the electrodes is shown in Figure 1.

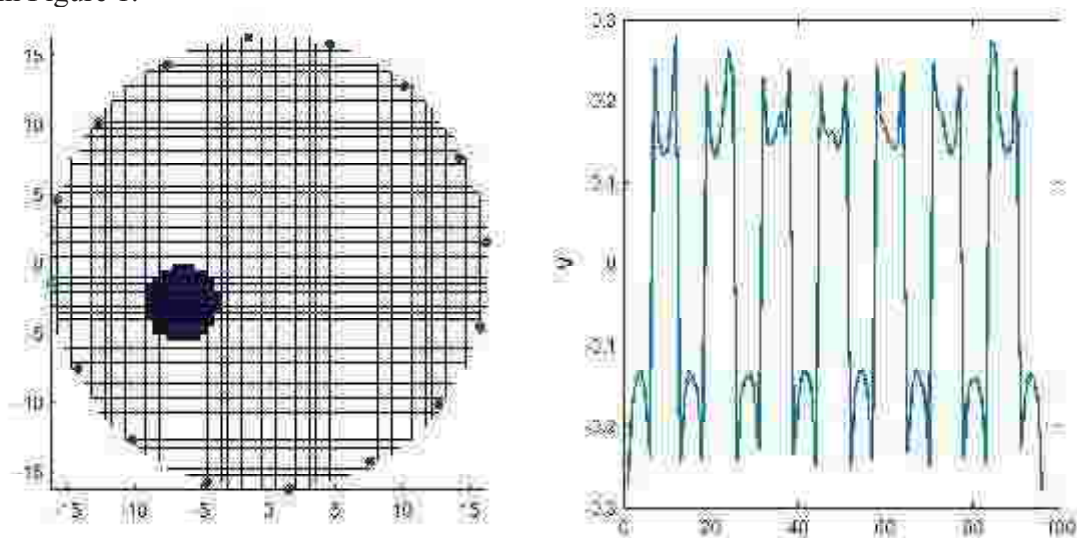


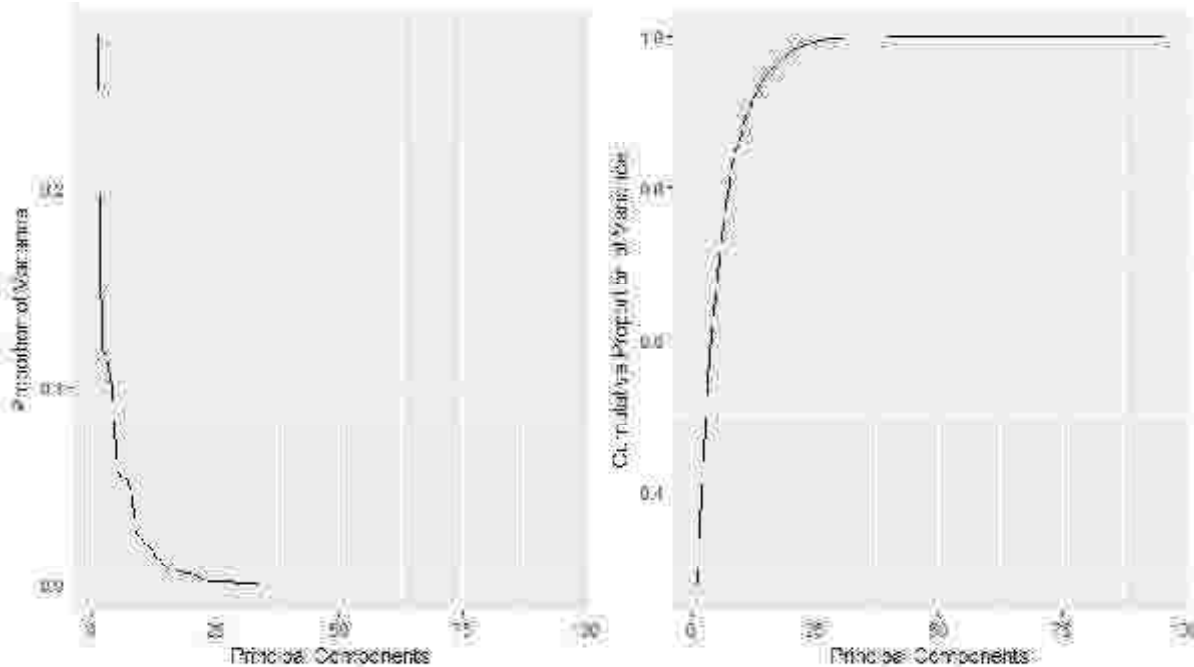
Fig. 1. Example of simulation and measurements

The above model contains 3228 finite elements that must be reconstructed after receiving the signal from the electrodes. We create a logistic regression model for each element. For 16 electrodes, the number of predictors in the model is 96 (taking the free word into account, therefore, we assume  $m = 97$  in the X



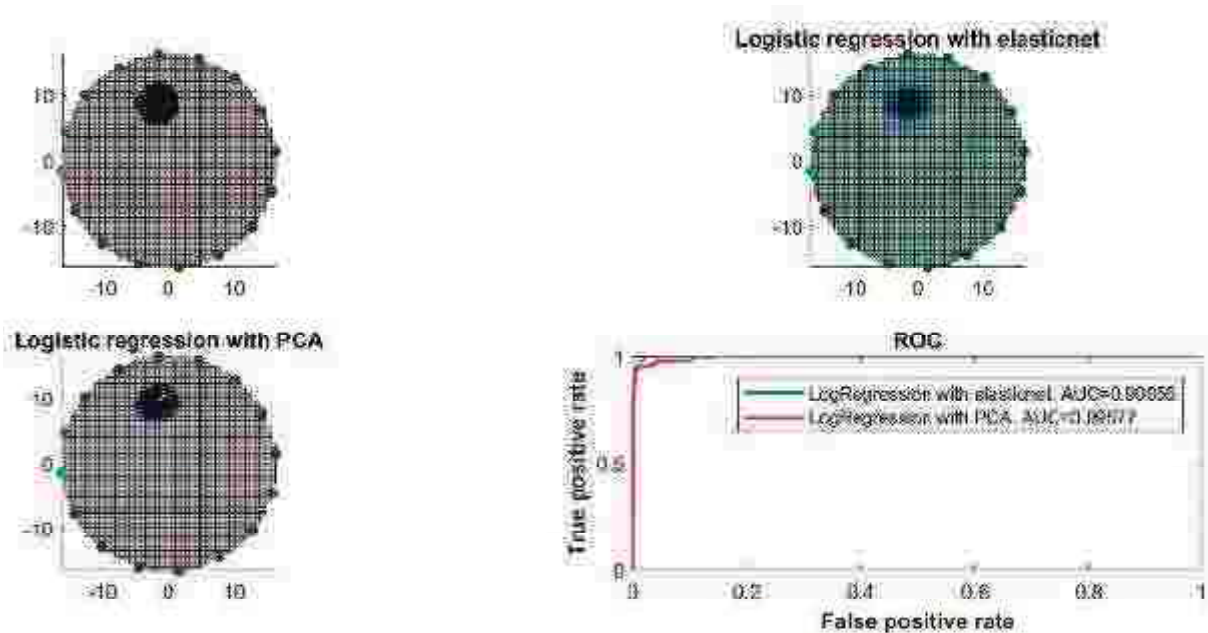
matrix). Identification was carried out on 5001 cases ( $n = 5001$ ), where one of them contained reference measurements (there were no inclusions in the field of view).

Figure 2 presents the share of the main components in explaining the variance of explanatory variables and the cumulative share. From the drawing we can see that practically the first 50 main components explain almost 100% variability.



**Fig. 2:** Shares of the main components in explaining the variance of the explained variables

Figure 3 presents patterns of visual areas, reconstructions using logistic regression using elasticnet, logistic regression with PCA and ROC charts for the above reconstruction methods.



**Fig. 3.** An example of reconstruction using logistic regression

## References

- [1] R. Wehrens, *Chemometrics with r*, Springer-Verlag GmbH, 2011.
- [2] T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman, *The elements of statistical learning*, Springer-Verlag New York Inc., 2009.
- [3] G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani, *An introduction to statistical learning*, Springer-Verlag GmbH, 2013.
- [4] H. Zou, T. Hastie, Regularization and variable selection via the elastic net, *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*. 67 (2005) 301–320.
- [5] R. Tibshirani, Regression shrinkage and selection via the lasso, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 58 (1994) 267–288.
- [6] J. Friedman, T. Hastie, R. Tibshirani, Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent, *Journal of Statistical Software*. 33 (2010).
- [7] X.G.S. Xin Yan, *Linear regression analysis*, World Scientific Publishing Company, 2009.
- [8] T. Fawcett, An introduction to ROC analysis, *Pattern Recognition Letters*. 27 (2006) 861–874. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.10.010>.
- [9] D.J. Hand, R.J. Till, A simple generalisation of the area under the roc curve for multiple class classification problems, *Machine Learning*. 45 (2001) 171–186. <https://doi.org/10.1023/a:1010920819831>.

# AN INTELLIGENT SENSOR PLATFORM WITH AN OPEN ARCHITECTURE FOR MONITORING AND CONTROLLING CYBER-PHYSICAL SYSTEMS

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Krzysztof KRÓL<sup>1</sup>, Andrzej ZAWADZKI<sup>1</sup>,  
Michał OLESZEK<sup>1</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup> Lublin University of Technology

## Introduction

Intelligent platforms for enterprises with open architecture with the possibility of free configuration and cooperation with external systems is the main idea of the presented solution.

The system consists of the following elements:

- New measurement techniques and construction of innovative intelligent measuring devices
- System framework with communication interface
- New unique algorithms for data optimization and analysis
- Algorithms for image reconstruction and monitoring of technological processes

The platform enables the management of an intelligent enterprise structure in terms of processes, products, simulations and products. It will enable optimization and auto-optimization of design, logistics and production processes. It will allow you to track the product cycle and ensure cooperation with external applications. The system will operate autonomously, monitoring, controlling, performing measurements and collecting their results. The collected data can be easily visualized. In addition, they will be used to create a unique knowledge base and support the expert system.

The essence of the solution is the development of intelligent mechanisms for monitoring and controlling industrial processes using modern measurement techniques, process tomography, vision systems, motion and temperature sensors as well as advanced methods of data and image processing, i.e. fuzzy clustering techniques and identification of parameters of system components, to determine important parameters industrial processes.

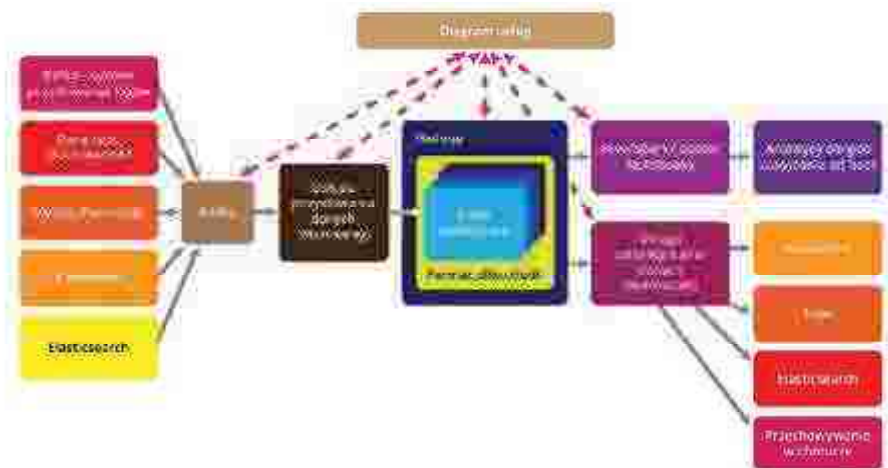


Fig. 1. Big Data platform

### Measuring sensors

Intelligent sensors are a unique solution for combining traditional "measuring instruments" with microprocessor technology using modern two-way communication interfaces. In addition, the sensors have the function of auto-calibration and auto-configuration, which increases their precision and reliability. In most cases, data is collected manually or semi-automatically with little support for complex systems. To this extent, there are no open platforms offering full integration and support for the enterprise in the field of monitoring and measuring devices as well as IT tools. The solution resulting from the project implementation includes a number of measuring devices (nodes) that collect data and transfer them to an analytical system that monitors potentially problematic processes and areas.

The key innovation is the use of tomographic techniques in sensor devices and the introduction of new algorithms for analyzing data acquired by sensors. During the project, electronic circuits processing data from many types of sensors will be designed and tested. Special algorithms have been developed that combine real-time data from various types of measurements to identify potential threats or unwanted effects. The developed methods will reconstruct data in 2D and 3D dimensions.



Fig. 2. Measuring sensors designed

### References

- [1] Rymarczyk T., Klosowski G., Kozłowski E., Rymarczyk P., Niderla K., Process analysis with electrical impedance and capacitance tomography data, 2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine, PTZE 2019, 2019, 161-165
- [2] Borcea L, Electrical impedance tomography, *Inverse Problems*, 18 (2002), 99–136.
- [3] Beck M. S., Byars M., Dyakowski T., Waterfall R., He R., Wang S. J., Yang W. Q., Principles and Industrial Applications of Electrical Capacitance Tomography, *Measurement and Control*, September, 30 (1997), No. 7.
- [4] Ye Z., Banasiak R., Soleimani M., Planar array 3D electrical capacitance tomography, *Insight: Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, 55 (2013), No. 12, 675-680
- [5] Romanowski, A.; Łuczak, P.; Grudzień, K. X-ray Imaging Analysis of Silo Flow Parameters Based on Trace Particles Using Targeted Crowdsourcing, *Sensors*, 19 (2019), No. 15, 3317
- [6] Dušek J., Hladký D., Mikulka J., Electrical Impedance Tomography Methods and Algorithms Processed with a GPU, In *PIERS Proceedings*, 2017, 1710-1714.
- [7] Romanowski A., Contextual Processing of Electrical Capacitance Tomography Measurement Data for Temporal Modeling of Pneumatic Conveying Process, 2018 Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS), IEEE, 2018, 283-286.

# PDE-SOLVED BY BOUNDARY ELEMENT METHOD FOR ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Krzysztof POLAKOWSKI<sup>3</sup>, Jan SIKORA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Research & Development Centre Netrix SA, Lublin

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation in Lublin

<sup>3</sup> Warsaw University of Technology

## Introduction

The motivation for writing this work is the need of building a relatively universal algorithm which could be able to provide a descent images for several modalities like EIT (Electrical Impedance Tomography) [2,5,6], ECT (Electrical Capacitance Tomography) [17], DOT (Diffuse Optical Tomography) [16], UTT (Ultra Sound Transmission Tomography) [7,10,11,12], RT (Radio Tomography) [13] and the others [1,4]. That will open the way for the hybrid tomograph [13], combining the possibility of EIT and ECP for example. The main problem in hybridisation is designing compact electrodes system suitable for both tomography types [14].

The algorithm based on the PDE (Partial Differential Equations) solution (the forward problem) by BEM (Boundary Element Method) is presented in this paper. immediately arise the question why BEM not the FEM (Finite Element Method)? First of all, the mathematical similarities of different kinds of nonconventional tomography predispose towards BEM rather than FEM because in BEM it is enough to change the Green function [3]. Secondly the boundary conditions are much easier impose, particularly for UTT and RT.

## Forward problem solution

Electrical properties such as conductivity  $\gamma$  [S/m] and electrical permittivity  $\varepsilon$  [F/m] define the behaviour of a material under the influence of an external electric field. For example, conductive materials have high conductivity  $\gamma$  for both direct (DC) and alternative (AC) current. Dielectric materials have a high permittivity with comparison to conductivity which going to zero. Let us consider a complex function of conductivity:

$$\gamma(\mathbf{x}, \omega) = \sigma(\mathbf{x}) + i \omega \varepsilon(\mathbf{x}), \quad i = \sqrt{-1} \quad (1)$$

where  $\mathbf{x}$  is a position vector in a 2D space depending on coordinates  $x, y$ , and  $i = \sqrt{-1}$  denotes imaginary unit and  $\omega$  is the pulsation (angular frequency). A forward problem solution involves the Laplace equation solution for the EIT:

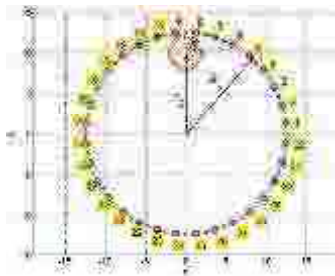
$$\nabla \cdot (\gamma \nabla \varphi) = 0 \quad (2)$$

with Dirichlet boundary conditions on the voltage electrodes and Neumann boundary conditions on the rest of the boundary nodes. If  $\omega = 0$ , then we are dealing with resistive tomography. But when the imaginary part of complex conductivity is much larger than its real part (resistivity), then the electrical impedance tomography acts as capacitance tomography. In practice three terms are used: impedance tomography which refers also to resistance tomography, capacitance tomography and induction, or eddy current, tomography, called magnetic tomography by some authors [9].

All three kinds of tomography are included in the group of impedance tomography, just having different characters: resistive, capacitive, or inductive.

In the rest of the paper the algorithm suitable for impedance/resistance tomography will be used, therefore to simplify the text we can introduce a material factor  $k(x, y)$ , which in this case, will represent conductivity but in other cases it will represent the permittivity  $\epsilon(x)$  or permeability  $\mu(x)$ .

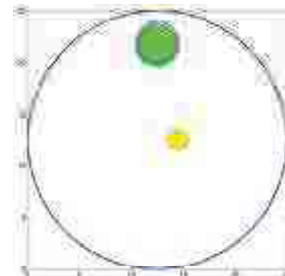
In the figures below there are the region under consideration with BEM discretization and optimization parameters, adjacent protocol of measurements and some results of optimization.



Heterogeneous region



Adjacent protocol



Results of optimization

## Literature

- [1] Bartušek, K.; Drexler, P.; Fiala, P.; et al., Magnetoinductive Lens for Experimental Mid-field MR Tomograph, *Progress in Electromagnetics Research, Symposium Location: Cambridge, MA JUL 05-08, (2010)*, 1047-1050
- [2] Dušek, J.; Hladký, D.; Mikulka, J., Electrical Impedance Tomography Methods and Algorithms Processed with a GPU. In *PIERS Proceedings (Spring, (2017)*, 1710-1714, ISBN: 978-1-5090-6269-0
- [3] Jablonski P., *Boundary Element Method in Electromagnetic Field Analysis*, Edytorial Office of Technical University of Czestochowa, (2003) (in Polish)
- [4] Kak A.C., Slaney M., *Principles of Computerized Tomographic Imaging*, IEEE Press, New York, (1999)
- [5] Kłosowski G., Rymarczyk T., Using Neural Networks and Deep Learning Algorithms in Electrical Impedance Tomography, *Informatyka, Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*, (2017), nr.3, 99-102
- [6] Kłosowski G., Rymarczyk T., Gola A., “Increasing the Reliability of Flood Embankments with Neural Imaging Method”, *Applied Sciences*, 8 (2018), (9), 1457
- [7] Koulountzios P., Rymarczyk T., Soleimani M., Ultrasonic Tomography for automated material inspection in liquid masses. 9th World Congress on Industrial Process Tomography, Bath, Great Britain, 2-6 Sept. (2018)
- [8] Lawson Ch.L., Hanson R.J., *Solving Least Squares Problems*, „Classics in Applied Mathematics” (1995), 15, SIAM
- [9] Mikulka, J., GPU- Accelerated Reconstruction of T2 Maps in Magnetic Resonance Imaging, *Measurement Science Review*, (2015), vol. 4, 210-218, ISSN: 1335-8871
- [10] Ming Yang, Schlaberg H.I., Hoyle B.S., Beck M.S., Lenn C., Real-Time Ultrasound Process Tomography for Two-Phase Flow Imaging Using a Reduced Number of Transducers, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 46, (1999), no. 3
- [11] Opieliński K.J., Gudra T., *Ultrasonic Transmission Tomography in Industrial and Biological Tomography: Theoretical Basis and Applications*, edited by Sikora J. and Wójtowicz S., Printed by Electrotechnical Institute, (2010), 265-338
- [12] Pańczyk, M. , Sikora, J., A new imaging algorithm for electric capacitance tomography, *Prace Instytutu Elektrotechniki*, (2016), VOL. 274, 27-41, DOI 10.5604/01.3001.0009.4405
- [13] Rymarczyk T., “Tomographic Imaging in Environmental, Industrial and Medical Applications”, *Innovatio Press Publishing Hause*, (2019)

- [14] Rymarczyk T., at all, Numer zgłoszenia patentowego P.418304, data zgłoszenia: 12-08-2016, tytuł: Sposób i układ do prowadzenia pomiarów w elektrycznej tomografii pojemnościowej (in Polish)
- [15] Rymarczyk T., Sikora J., Polakowski K., Adamkiewicz P., Efektywny algorytm obrazowania w tomografii ultradźwiękowej i radiowej dla zagadnień dwuwymiarowych, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 94 NR 6 (2018), doi:10.15199/48.2018.06.11 (in Polish)
- [16] Sikora J., Boundary Element Method for Impedance and Optical Tomography, Editorial Office of Warsaw University of Technology, (2007)
- [17] Soleimani M., Mitchell C.N., Banasiak R., Wajman R., Adler A., Four-dimensional electrical capacitance tomography imaging using experimental data, Progress in Electromagnetics Research, (2009), vol. 90, 171-186
- [18] <http://www.mathworks.com/products/matlab/> [access: June 2018]

# PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS OF DATA FOR ULTRASOUND TRANSMISSION TOMOGRAPHY

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Krzysztof POLAKOWSKI<sup>3</sup>, Jan SIKORA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Research & Development Centre Netrix SA, Lublin

<sup>2</sup> University of Economics and Innovation in Lublin

<sup>3</sup> Warsaw University of Technology

## Introduction

The quality of the measurement signal in tomographic systems [1,2,5,6,7,9] has always been a problem. Proper and effective noise suppression is a key problem, which is why so many researchers have devoted themselves to this topic [13,14]. A very successful attempt to reduce the dimensionality of the three-dimensional problem, by eliminating almost linearly dependent measurements. Indirectly thanks to dimensionality reduction the noise was suppressed (see for example [14]).

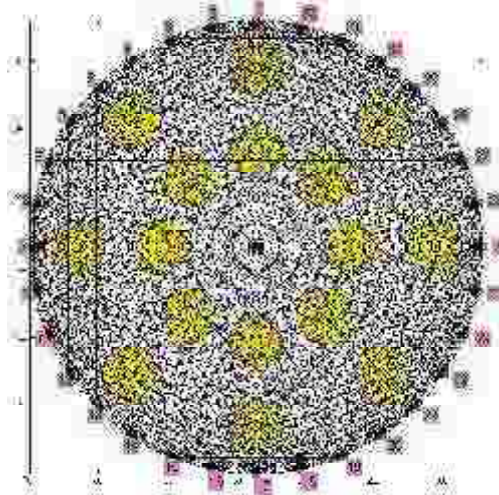
This article attempts to directly [3] suppress noise using the PCA (Principal Component Analysis) technique. In this work, we focus our attention on PCA, which has three main applications [3]:

1. Preliminary data processing for the purposes of model development;
2. Data compression;
3. Noise reduction.

In this article, we will deal with noise reduction, based on synthetic and measured data and on an optimization approach to imaging [11].

## Optimization approach to imaging in ultrasonic transmission tomography

The new proposed ultrasonic imaging algorithm does not pixelate the area (see papers [10,11]) for imaging its interior, but is based on the idea of uniformly distributed many test objects inside the considered area. During the optimization process, some of the test objects will disappear and others will adjust their size and location to real objects. This idea is presented in Fig. 1.



**Fig. 1.** Starting point – distribution of so-called "trial" internal objects

Each trial internal object is defined by the position vector and the internal radius. Both quantities are treated as the optimization parameters on which the inequality constraints were imposed.



### Noise suppression by the principal component analysis

This section of the article examines the use of PCA in the aspect of noise reduction. Admittedly, using such a tool as STATISTICS [3] with its toolboxes, functions such as princomp and zscore are useful and easy available. However, the basic computing platform for ultrasonic imaging in this work is MATLAB [15]. What's more, only the basic MATLAB functions were used to present the application of Principal Component Analysis (PCA) [3,8]. The distribution of the principal components is presented in Fig. 2.

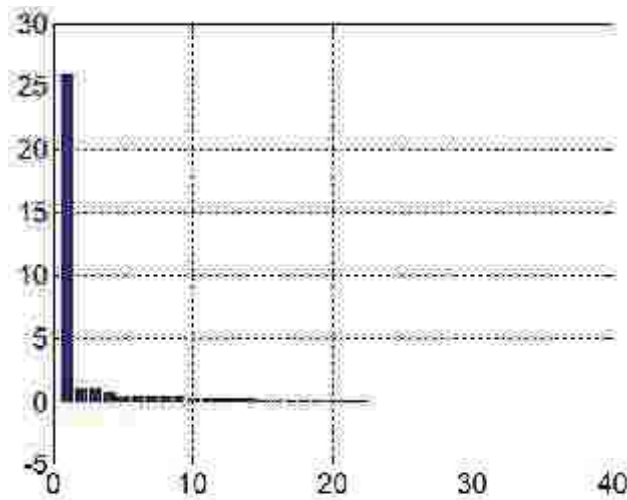


Fig. 2. Distribution of main components

### References

- [1] Bartušek, K.; Drexler, P.; Fiala, P.; all authors' names, Magnetoinductive lens for experimental Mid-field MR tomograph, Progress in Electromagnetics Research, Symposium Location: Cambridge, MA JUL 05-08, (2010), 1047-1050
- [2] Dušek, J.; Hladký, D.; Mikulka, J., Electrical impedance tomography methods and algorithms processed with a GPU. In PIERS Proceedings (Spring), (2017), 1710-1714, ISBN: 978-1-5090-6269-0
- [3] Dwinnell W., Data Mining in MATLAB, <https://matlabdatamining.blogspot.com/2010/02/putting-pca-to-work.html> [access: July 2019]
- [4] Kak A.C., Slaney M., Principles of computerized tomographic imaging, IEEE Press, New York, 1999
- [5] Kłosowski G., Rymarczyk T., Using Neural Networks and Deep Learning Algorithms in Electrical Impedance Tomography, Informatyka, Automatyka Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ), (2017), nr.3, 99-102
- [6] Kłosowski G., Rymarczyk T., Gola A., "Increasing the reliability of flood embankments with Neural imaging Method", Applied Sciences, 8 (2018), (9), 1457
- [7] Koulountzios P., Rymarczyk T., Soleimani M., Ultrasonic Tomography for automated material inspection in liquid masses. 9th World Congress on Industrial Process Tomography, Bath, Great Britain, 2-6 Sept. (2018)
- [8] Lawson Ch.L., Hanson R.J., Solving Least Squares Problems, „Classics in Applied Mathematics” (1995), 15, SIAM
- [9] Mikulka, J., GPU- Accelerated reconstruction of T2 Maps in Magnetic Resonance Imaging, Measurement Science Review, (2015), vol. 4, 210-218, ISSN: 1335-8871
- [10] Ming Yang, Schlaberg H.I., Hoyle B.S., Beck M.S., Lenn C., Real-time Ultrasound Process Tomography for Two-Phase flow imaging using a reduced number of transducers, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 46, (1999), no. 3
- [11] Rymarczyk T., "Tomographic imaging in environmental, industrial and medical applications", Innovatio Press Publishing Hause, (2019)
- [12] Rymarczyk T., all authors' names, Numer zgłoszenia patentowego P.418304, data zgłoszenia: 12-08-2016, tytuł: Sposób i układ do prowadzenia pomiarów w elektrycznej tomografii pojemnościowej (in Polish)

- [13] Soleimani M., Mitchell C.N., Banasiak R., Wajman R., Adler A., Four-dimensional electrical capacitance tomography imaging using experimental data, *Progress in Electromagnetics Research*, (2009), vol. 90, 171-186
- [14] Stasiak M.: Identyfikacja wnętrza obiektów trójwymiarowych, metodą tomografii impedancyjnej, *Rozprawa doktorska*, Politechnika Łódzka, 2005, (in Polish)
- [15] <http://www.mathworks.com/products/matlab/> [access: June 2018].

# SYSTEM CONSTRUCTION BASED ON A WIRE MESH SENSOR FOR FLOW ANALYSIS

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Jakub SZUMOWSKI<sup>1</sup>, Paweł RYMARCZYK<sup>1</sup>,  
Konrad NIDERLA<sup>1,2</sup>, Przemysław ADAMKIEWICZ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

## Introduction

Wire-mesh sensor (WMS, mesh sensor) is a device for invasive imaging of vertical and horizontal flows of liquids and gases [1] [3]. It does not require any complicated software reconstruction, which is why it is characterized by very high operating speed, which depends to the greatest extent on the conversion time of the analog-to-digital converter used. The sensor consists of two parts: the acquisition module and the working part [3] [4]. The device allows testing of multiphase flows and classic testing of air bubbles that are usually performed in air-lift reactors [8]. The sensors are also suitable for testing various types of surface flows and the movement of bulk materials along the bottom of a pipeline due to their high time resolution [1] [2] [6] [7]. The price for very high performance is, of course, invasiveness, but research shows the level of uncertainty of measuring these devices oscillating around 10% [5].

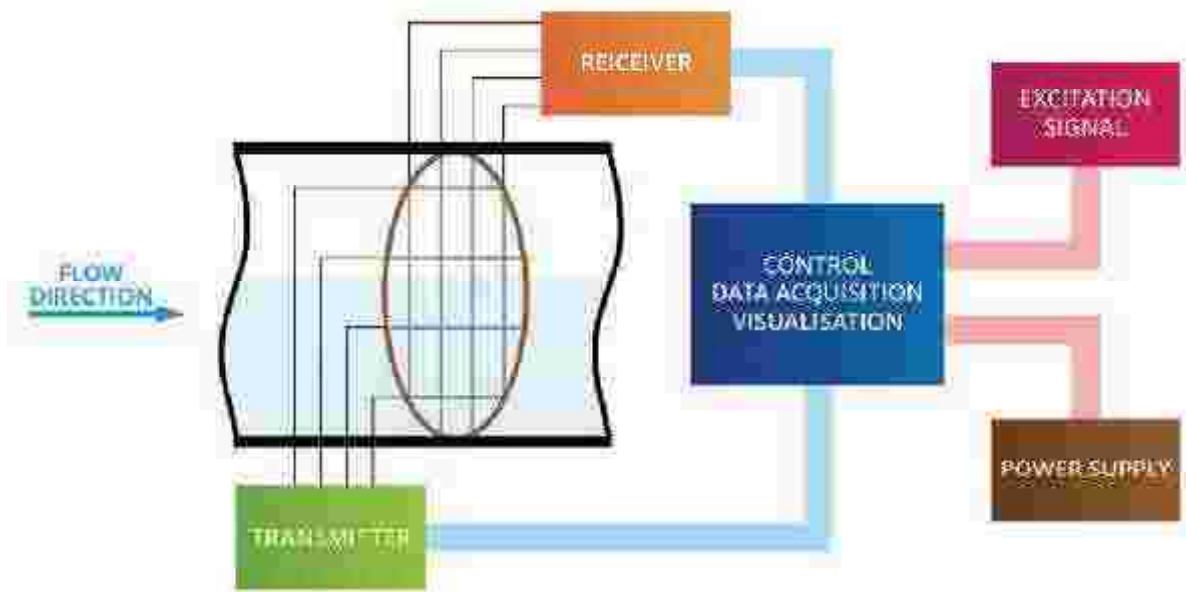


Fig. 1. WMS block diagram

## Measuring system

The control system used in the project is a 32-bit STMicroelectronics STM32F746NG microcontroller located on the 32F746GDISCOVERY development board. It was built on the basis of a high-performance ARM Cortex M7 core, has 1 MB of built-in flash memory but also a 128-MB Quad-SPI flash memory and 128-MB SDRAM memory organized in 4 banks. The development board is equipped with a 4.3-inch TFT LCD display with a resolution of 480 x 272 pixels and the ability to display 262 thousand colors. The screen uses the LTDC controller (LCD TFT Display Controller) and the aforementioned RAM, thanks to which it is possible to obtain high data transmission speeds. The capacitive touch layer of the screen communicates with the microcontroller using the SPI protocol in full-duplex mode. Quad-SPI flash memory is used, among others, to store a significant amount of raster graphics for the needs of HMI (Human-Machine Interface). 32F746GDISCOVERY has a number of multimedia elements: ART accelerator, hardware audio codec,

built-in stereo speakers, 2 MEMS microphones, camera connector, line input and output via minijack connectors. The board is equipped with microUSB communication interfaces working in Full Speed and High Speed modes, a microSD card connector as well as a 10 / 100M Ethernet connector and controller. The integrated ST-LINK / V2 programmer allows you to program the system quickly without additional accessories, directly through the miniUSB port. The whole system can be powered via a microUSB socket or, as in the case described above, via a pin connector from a 5V source.



**Fig. 2.** Second WMS prototype without housing: control system based on STM32F429, acquisition module in the second version and working part in the second version



**Fig. 3.** Mesh sensor on the test stand

## References

- [1] Rodriguez, I., Velasco, H.F., Rodriguez, O.M., & Riano, „Capacitive wire-mesh sensor measurements in oilwater flow”, A.B. (2014).
- [2] E. N. dos Santos, M. J. da Silva, R. E. M. Morales, S. Thiele, E.Schleicher, U. Hampel, „Novel wire-mesh sensor for the visualization of three-phase flows”, 15th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, November 10-13, 2014, Belém, PA, Brazil
- [3] M. J. Da Silva, E. N. dos Santos, U. Hampel, I. H. Rodriguez, O. M. H. Rodriguez, „Phase fraction distribution measurement of oil–water flow using a capacitance wire-mesh sensor”, *Measurement Science and Technology* 22, 2011
- [4] M. J. Da Silva, U. Hampel, „Capacitance wire-mesh sensor applied for the visualization of three-phase gas–liquid–liquid flows”, *Flow Measurement and Instrumentation* 34, 113–117, 2013
- [5] S. Sharaf, M. Da Silva, U. Hampel, C. Zippe, M. Beyer, B. Azzopardi, „Comparison between wire mesh sensor and gamma densitometry void measurements in two-phase flows”, *Measurement Science and Technology* 22, 2011
- [6] M. J. da Silva, E.Schleicher, U. Hampel, „Advanced wire-mesh sensor technology for fast flow imaging”, IST 2009 - International Workshop on Imaging Systems and Techniques, Shenzhen, China, May 11-12, 2009
- [7] M. J. da Silva, U. Hampel, L. Arruda, C. E. F. do Amaral, R. Morales, „Experimental Investigation of Horizontal Gas-Liquid Slug Flow by Means of Wire-Mesh Sensor”, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*. 33. 234-242, 2010
- [8] E. dos Santos, S. Reinecke, E. Schleicher, U. Hampel, M. da Silva, „Wire-mesh sensor applied to solid concentration visualization in slurries”, 7th International Symposium on Process Tomography, Dresden, Germany, 1 - 3 September 2015

# IMAGE RECONSTRUCTION USING LOGISTIC REGRESSION IN ELECTRICAL IMPEDANCE TOMOGRAPHY FOR ANALYZING BUILDING MOISTURE

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Paweł TCHÓRZEWSKI<sup>1</sup>, Edward KOZŁOWSKI<sup>3</sup>,  
Michał OLESZEK<sup>1</sup>, Michał GOŁĄBEK<sup>1</sup>, Paweł RYMARCZYK<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

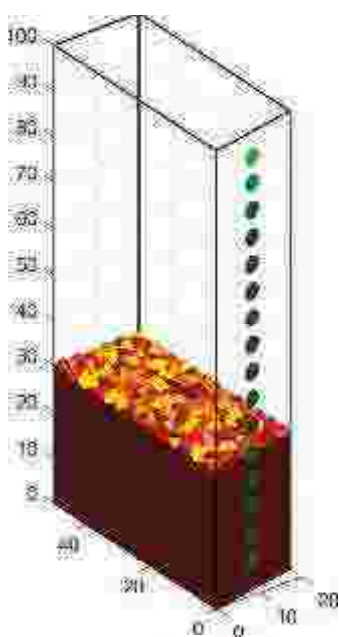
<sup>3</sup>Lublin University of Technology, Lublin

## Introduction

The article presents image reconstruction using logistic regression in electric impedance tomography to analyze building humidity for reconstruction of tomographic images. The presented research results show that electric tomography enables the analysis of objects without interfering with them. The work focused mainly on electrical impedance tomography and image reconstruction using machine learning methods, reconstruction results were compared and various numerical models were used. The main advantage of the presented solution is the ability to analyze spatial data and high processing speed. The implemented algorithm based on logistic regression is promising in image reconstruction. In addition, the elasticnet method was used to solve the problem of selecting input variables in the regression model. Electric tomography allows observing physical and chemical phenomena without interfering with their interior. It is a technique of imaging the interior of the examined object, based on measurements taken at its boundary. The key parameters in electric tomography are the speed of analysis and accuracy of reconstructed objects. Applications usually pose a challenge in obtaining spatial data from observations outside the measurement limits. The reconstruction algorithm is obtained by solving the inverse problem.

## Results

The tested model was based on one-sided measurement using 16 electrodes.



**Fig. 1.** Conductivity distribution defined on a very dense finite element mesh (for the purposes of creating a simulation data frame).

The conductivity distribution defined on a very dense finite element mesh (for the purposes of creating a simulation data frame) was presented in Fig. 1.

Figures 2 presents the electrical voltages for the reconstruction methods (Fig. 3).

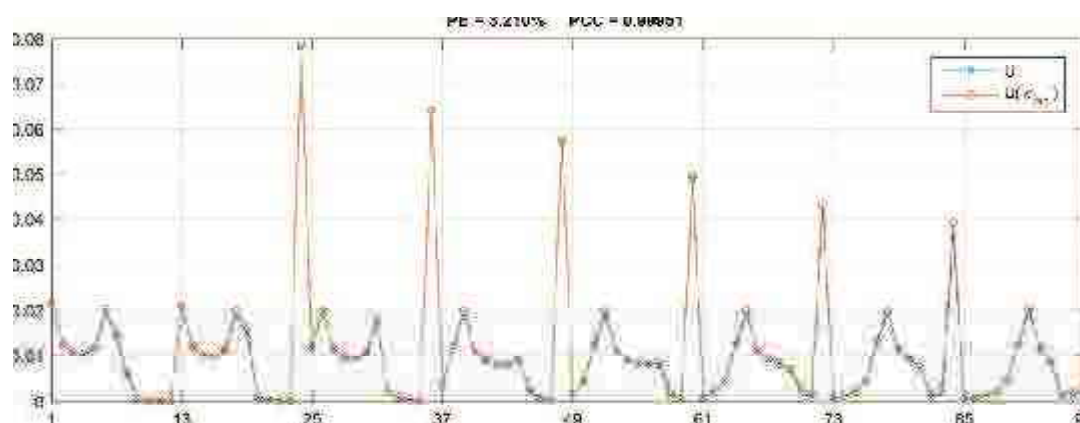


Fig. 2. Electrical voltages - GN-T method

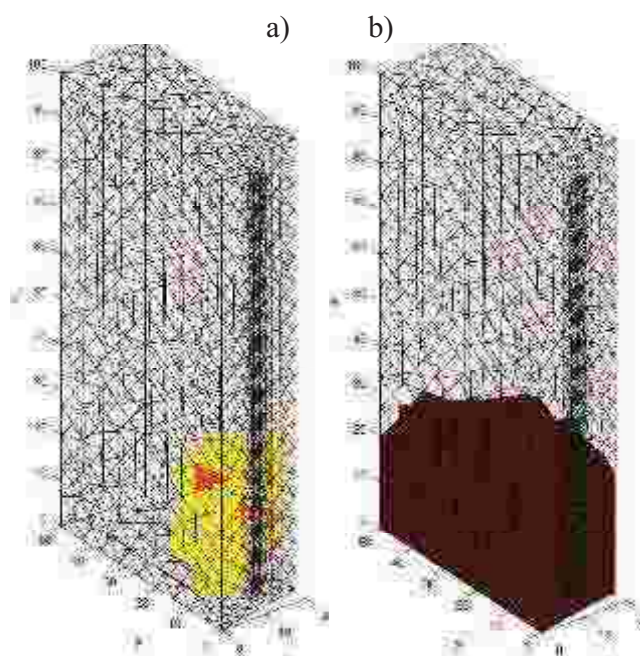


Fig. 3. Image reconstruction obtained using the methods: (a) GN-T, (b) LR

### References

- [1] A. Goetzke-Pala, A. Hoła, Ł. Sadowski, A non-destructive method of the evaluation of the moisture in saline brick walls using artificial neural networks. *Archives of Civil and Mechanical Engineering* 18(4) 2018, 1729-1742.
- [2] T. Hastie, R. Tibshirani; J. Friedman, *The Elements of Statistical Learning: Data Mining, Inference, and Prediction*, Springer, 2009.
- [3] G. James, D. Witten, T. Hastie, R. Tibshirani, *An Introduction to Statistical Learning: with Applications in R*, Springer, 2017.
- [4] R. Tibshirani, Regression shrinkage and selection via the lasso”, in *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 58 (1) (1996), 267–288.
- [5] R. Wehrens, *Chemometrics with R. Multivariate Data Analysis in the Natural Science and Life Sciences*, Springer, 2011.
- [6] Xin Yan, Xiao Gang Su, *Linear regression analysis: Theory and computing*, World Scientific, 2009.
- [7] H. Zou, T. Hastie, Regularization and variable selection via the elastic net”, in *Journal of the Royal Statistical Society, Series B* 67(2) (2005), 301–320.

# MONITORING OF FLOOD EMBANKMENTS BY SOLVING INVERSE PROBLEMS IN ELECTRICAL RESISTANCE TOMOGRAPHY

Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Paweł TCHÓRZEWSKI<sup>1</sup>, Edward KOZŁOWSKI<sup>3</sup>,  
Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>3</sup>, Konrad NIDERLA<sup>1,2</sup>, Jan SIKORA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology

## Introduction

The article presents the results of research on the flood embankment monitoring system based on electrical resistance tomography (ERT). During floods, a rapid increase in the amount of water in rivers between embankments causes water pressure, erosion of the upper surface of the embankment, leaks and cracking of levees. The most common material for the construction of the embankment is a structure made of material found near the river. Despite great progress in the design of embankments, unexpected changes in the structure of objects may occur. Currently used methods of visual identification of cracks and soaking of shafts are insufficient. The presented solution is a non-invasive method of assessing the embankment structure, which is ideal for imaging contaminated zones, as well as for monitoring the behaviour of leachate from uncontrolled landfills. Electric tomography uses a number of algorithms and devices. This article presents special models with implemented leak detection and damage algorithms. Previous work on the research of flood embankments was mainly based on the use of gradient methods and neural networks. Here, the authors focused on showing the effectiveness of reconstruction using machine learning in relation to the deterministic methods. The presented algorithms can be successfully used to solve optimization problems, where the objective function is properly minimized, defined as the potential difference between the calculated values and measured on the edge of the tested object.

## Results

This study contains example image reconstructions related to the analysis of the structure of flood embankments. Numerical calculations were made taking into account three spatial dimensions. In the process of optimizing the objective function, the following methods were used:

- Gauss-Newton method with Tikhonov regularization (GN-T),
- Gauss-Newton method with Laplace regularization (GN-L),
- regularization based on the total variability of the function (TV),
- elasticnet regularization (EN).

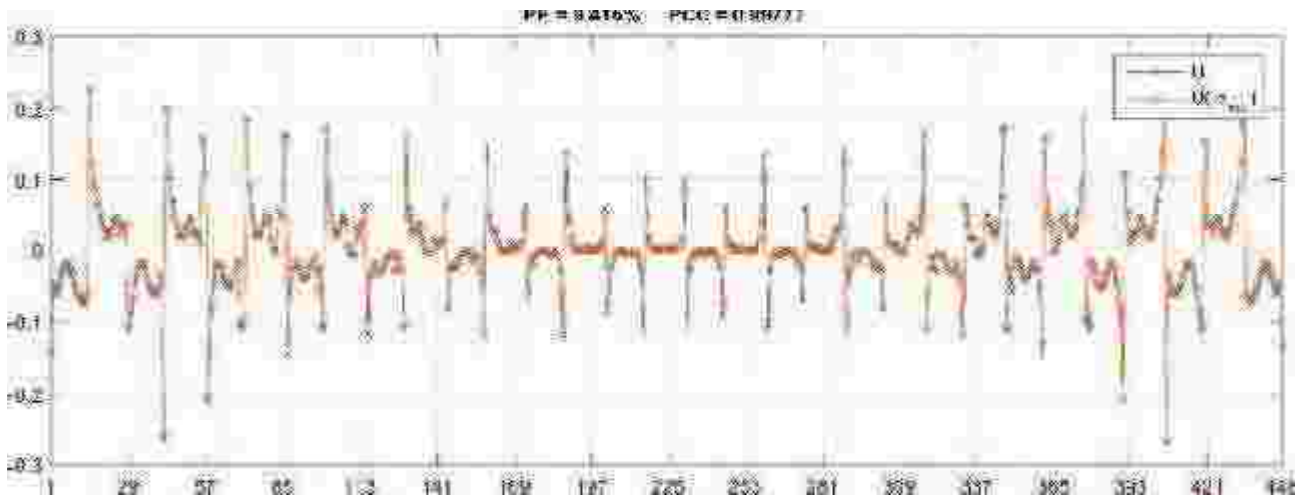
**Table 1.** List of reconstruction parameters for deterministic methods

	GN-T	GN-L	TV
$\lambda$	5.0E-3	1.0E-3	1.0E-2
$N_{\max}$	3	7	2

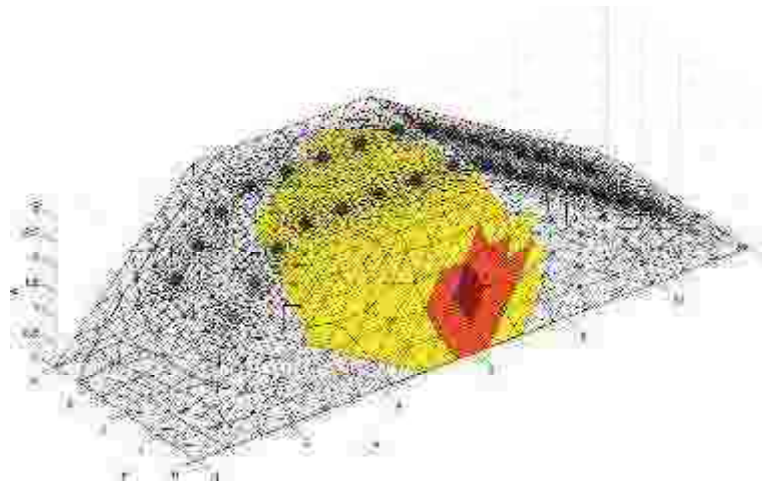


**Table 2.** Parameters characterizing the quality of the reconstruction

	GN-T	GN-L	TV	EN
<b>PE</b>	8.8639 %	0.8729 %	7.0624 %	11.2592 %
<b>PCC</b>	0.9932	0.9999	0.9951	0.9958



**Fig. 1.** Electrical voltages - EN method



**Fig. 2.** Reconstruction of the image obtained by the EN method

### References

- [1] Adler A., Lionheart W.R.B., Uses and abuses of EIDORS: an extensible software base for EIT, *Physiological Measurement*, 2006, 27, 25-42.
- [2] Borcea L., Electrical impedance tomography, *Inverse Problems*, 2002, 18, 99–136.
- [3] Dušek J., Hladký D., Mikulka J., Electrical Impedance Tomography Methods and Algorithms Processed with a GPU, In *PIERS Proceedings*, 2017, 1710-1714.
- [4] Friedman J.; Tibshirani R.; Hastie T.; Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent, *Journal of Statistical Software*, 2010, 33(1).

- [5] Romanowski A. Big Data-Driven Contextual Processing Methods for Electrical Capacitance Tomography. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2019;15(3):1609-1618.
- [6] Rymarczyk T., Tchórzewski P., Sikora J., Adamkiewicz P., Niderla K.: Analysis and Monitoring of Flood Embankments Through Image Reconstruction Based on Electrical Impedance Tomography, *ISEF 2019 XIX International Symposium on Electromagnetic Fields in Mechatronics, Electrical and Electronic Engineering*, 29-31 August 2019, Nancy, France.
- [7] Rymarczyk T., Kozłowski E., Kłosowski G., Niderla K., Logistic Regression for Machine Learning in Process Tomography, *Sensors*, vol. 19, no. 15, p. 3400, 2019.
- [8] Smolik W., Kryszyn J., Olszewski T., Szabatin R., Methods of small capacitance measurement in electrical capacitance tomography, *Informatyka, Automatyka, Pomiary w Gospodarce i Ochronie Środowiska (IAPGOŚ)*, 2017, 7(1), 105-110; DOI: 10.5604/01.3001.0010.4596
- [9] Szczesny A, Korzeniewska E. Selection of the method for the earthing resistance measurement. *Przegląd Elektrotechniczny* 2018;94(12):178-181.
- [10] Voutilainen A., Lehtikoinen A., Vauhkonen M., Kaipio J.P., Three-dimensional nonstationary electrical impedance tomography with a single electrode layer, *Measurement Science and Technology*, 2010, 21, 035107.
- [11] Wajman R., Fiderek P., Fidos H., Sankowski D., Banasiak R., Metrological evaluation of a 3D electrical capacitance tomography measurement system for two-phase flow fraction determination, *Measurement Science and Technology*, 2013, 24(6), 065302.

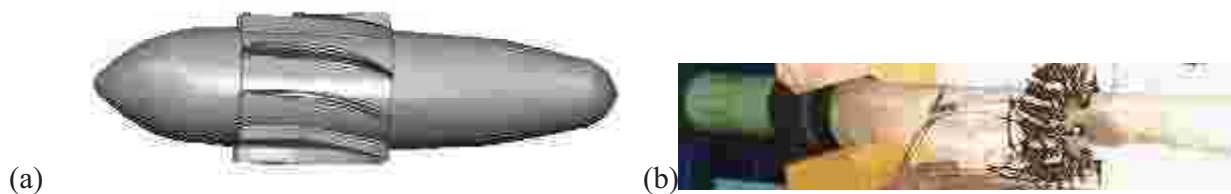
# SCALING OF ELECTRICAL RESISTANCE TOMOGRAPHY DATA OF SWIRLED LIQUID-GAS SEPARATION USING FAST CAMERA IMAGING

Muhammad AWAIS SATTAR<sup>1</sup>, Matheus Martinez GARCIA<sup>2</sup>, Robert BANASIAK<sup>1</sup>, Luis M. PORTELA<sup>2</sup>, Laurent BABOUT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>The Lodz University of Technology, Institute of Applied Computer Science

<sup>2</sup>The Delft University of Technology, Department of Chemical Engineering, Netherlands

Most of the processes in the chemical industry involve the application of multiphase flows. Various types of media are transported in different forms, and thus there is a constant need to monitor online different parameters such as flow conditions, mixing efficiency, phase velocities, and separation parameters [1]. In recent years, swirling flows got popularity for the gas-liquid separation [2]. The principle of separation is based upon the density difference of the phases that separate due to centrifugal forces [3]. The CAD sketch of the inline swirl element used in this research is shown in Figure 1a.

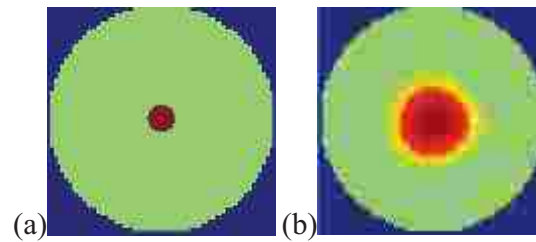


**Fig. 1.**(a) CAD of the Inline Swirl Element, (b) flow facility during water-gas separation operation showing the swirl and the ERT sensor on the pipe section

Multiphase flow meters are widely used in the process industry, but they have certain drawbacks such as accuracy, cost, temperature restrictions, stability, and need for calibrations [4][5]. Research on process tomography as a non-intrusive method for multiphase flow measurements has been carried out since the last few decades, primarily due to the higher measurement speed, low implementation cost, and straightforward implementation [6].

The goal of this work is to evaluate the Electrical Resistance Tomography measurement in terms of accuracy when evaluating gas-liquid flow distribution for controlled separation purposes. Figure 1b shows an exemplar picture of the separation flow facility in Lodz (in reality, the pipe section is vertical), where the swirl element and the ERT sensor are installed.

First, to calibrate the system, static tests in tap water were done by placing the hollow phantoms of size ranging from 10mm-40mm in the center of a single plane 16 electrode sensor. The camera images and ERT data were recorded in the same configuration. The 2D tomographic images were obtained using the Gauss-Newton image reconstruction algorithm, as shown in Figure 2. These generally overestimate the real size. Therefore, a scaling approach needs to be found to compute the equivalent vortex diameters (then gas fractions) as correctly as possible.

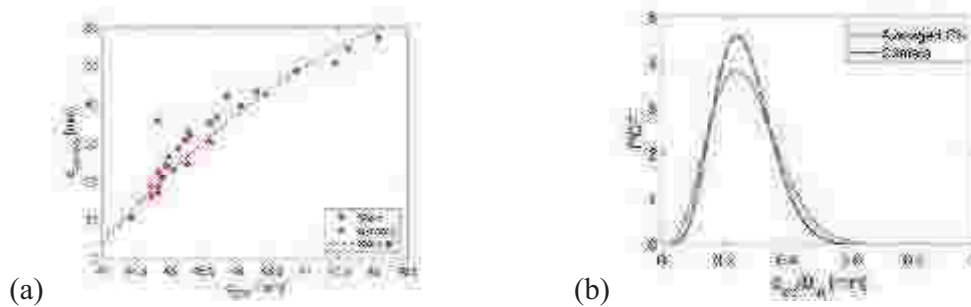


**Figure 2:** Static Image reconstruction case: (a) 10 mm phantom in the middle of the sensor. (b) GN image reconstruction

Twenty-five experimental points for tap water and air mixture were chosen to study the gas core evaluation based on the ERT sensor (acquisition rate: 12 Hz) and the fast camera (acquisition rate: 50 Hz). A scattergram of the averaged data points over the 20s of data acquisition of the ERT and camera dynamic measurements for these experimental conditions is shown in Figure 3a. In this figure, a quadratic curve was chosen to fit the evolution of the estimation of the ERT vortex equivalent diameter  $d$  as a function of the camera values in the static case, given by:

$$d_{camera} = -1.511 d_{ERT}^2 + 152.8 d_{ERT} - 3794 \quad (R^2 = 0.9914) \quad (1)$$

One can notice that the experimental points lie pretty close to the static points and their corresponding fitting curve. This suggests that the scaling of the size retrieved from the ERT measurement is possible. The measurement time series was also performed by analyzing the Probability Density Functions (PDFs) of the camera and ERT signals, as shown for one experimental point in Figure 3b.



**Figure 3.** (a) Average equivalent diameters obtained using the Gauss-Newton (GN) reconstruction scheme plotted against the camera values for the static and dynamic experimental points. (b) PDF of the equivalent core diameter -to- pipe inner diameter ratio for 1 experimental point.

Both distributions are very close in Figure 3b, even if the PDF of the ERT measurement is usually broader for most of the experimental points. The discrepancy between the PDFs may be caused by the gas core instability during the data acquisition window, continuously losing symmetry and breaking into bursts of bubbles. This causes false data for both modalities. Despite this challenge, the proposed method reduced the ERT error of dynamic measurements of the gas core size from over 300% to below 20%, making it a realistic sensing technique for controlled separation processes.

## References

- [1] H. L. M. Ameran, E. J. Mohamad, S. Z. M. Muji, R. A. Rahim, J. Abdullah, and W. N. A. Rashid, "Multiphase flow velocity measurement of chemical processes using electrical tomography: A review," Proc. - 2016 IEEE Conf. Syst. Process Control. ICSPC 2016, no. October, pp. 130–135, 2017.
- [2] W. Liu and B. Bai, "Swirl decay in the gas-liquid two-phase swirling flow inside a circular, straight pipe," Exp. Therm. Fluid Sci., vol. 68, pp. 187–195, 2015.
- [3] B. Sahovic, H. Atmani, P. Wiedemann, E. Schleicher, D. Legendre, and E. Clement, "Investigation of upstream and downstream flow conditions in a swirling inline fluid separator – experiments with

- a wire-mesh sensor and CFD studies," in 9th World Congress on Industrial Process Tomography, 2018.
- [4] W. Yang et al., "Multiphase flow measurement by electrical capacitance tomography," 2011 IEEE Int. Conf. Imaging Syst. Tech. IST 2011 - Proc., pp. 108–111, 2011.
- [5] V. Mosorov, K. Grudzień, and D. Sankowski, "Flow Velocity Measurement Methods Using Electrical Capacitance Tomography," *Informatics Control Meas. Econ. Environ. Prot.*, vol. 7, no. 1, pp. 30–36, 2017.
- [6] Z. Ren, A. Kowalski, and T. L. Rodgers, "Measuring inline velocity profile of shampoo by electrical resistance tomography (ERT)," *Flow Meas. Instrum.*, vol. 58, no. March, pp. 31–37, 2017.

# **HISTORICAL AND TECHNICAL REVIEW OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS**

**Sebastijan SEME, Klemen SREDENŠEK,  
Bojan ŠTUMBERGER, Miralem HADŽISELIMOVIĆ**

Faculty of Energy Technology  
Faculty of Electrical Engineering  
and Computer Science University of Maribor

Theoretically, solar energy has been used since the very beginnings of humanity. As early as the 7<sup>th</sup> century B.C., sunlight was used to ignite fires using a magnifying glass. In the 3<sup>rd</sup> century B.C., Greeks and Romans used solar energy for religious ceremonies, building temples by exploiting sunlight (sun rooms). All the gained knowledge about sunlight was later around 1200 B.C. improved by the Anasazi [1].

In the late 17<sup>th</sup> and 18<sup>th</sup> centuries, sunlight was used by researchers and scientists for solar powered steam vessels. However, it is clear that solar energy has been harnessed in different ways and in different fields for millennia before our current use [1].

Due to the escalation of global warming, the average temperature of the Earth has exceeded the safe limit. To counteract this environmental threat, solar energy has received a lot of attention from various researchers. Therefore, different systems have been developed to effectively convert solar energy into thermal and/or electrical energy [2].

A physical phenomenon describing the conversion of solar radiation, more specifically the energy of light particles of photons, into electricity, was discovered in 1839 at the age of nineteen by the French physicist Alexandre Edmond Becquerel. The phenomenon was discovered by chance while experimenting with two metal electrodes immersed in dilute acid. His discovery remained more or less forgotten until 1873, when a similar discovery was succeeded by Willoughby Smith, except for chemical element called selenium. Selenium conductivity has been found to be proportional to the amount of light to which the material is exposed. These were the foundations for the manufacture of the first selenium solar cell in 1877, the exact description of which was given in 1883 by Charles Fritts. The first selenium solar cells had an overall efficiency of 1% to 2%. In 1904, the photo-effect of the dual character of light, which is regarded as wave or particle flow, was theoretically explained by Albert Einstein. In addition, Einstein also introduced the concept of a light particle called a photon. A little over a decade (1916) after that, Einstein's theory was practically proven by Robert Andrews Millikan, while Polish scientist Jan Czochralski developed a method for obtaining single-crystal silicon during this time. Einstein received the Nobel Prize in 1921 for his contributions to theoretical physics and specifically for the discovery and interpretation of the law of photo-effect.

The development of tracking systems was also not far behind, since the authors [3] already in 1984 introduced a two-axis PV tracking system with four electro-optical sensors arranged in four quadrants. The sensors were designed using two modules that intersected with each other in a straight line. An amplifier and other electronic components were used to control the circuit. Both actuators are activated by the received signal from the control circuit and restored to its starting position at the beginning of the night. This type of tracking system is suitable for small and large PV tracking systems. Two years later, in 1986, the authors [4] introduced a tracking system that depends on the shading method. Four optical sensors are installed in the east-west and north-south directions and mounted on a fixed platform. The sensors send signals to the

actuators and alignment systems through the difference of measured solar radiation. At the end of the day, the system stays in the same place until sunrise, then automatically returns to its starting position in the morning. Different authors in their papers [5]-[9] represents the development of different tracking systems, that followed from 1990 to 1999. During this period, the companies also started to merge, thus forming the largest PV cell manufacturing companies. In 2000, especially in Germany, the first renewable energy companies entered the stock market and, with the pooling of capital, led to the emergence of the largest PV companies. The production of manufacturers in Japan also increased significantly in 2000 and 2001, with Sharp, Kyocera and Sanyo each producing PV modules corresponding to annual consumption in Germany, as one of the most demanding European market. PV modules are also used in other applications such as the Helios NASA experimental aircraft, which underwent a test flight into the stratosphere on 13<sup>th</sup> august, 2001 and reached an altitude of 30 km [10]

Solar energy (the electromagnetic energy of the sun's rays) can be used through solar systems to produce thermal and/or electricity [2]. Thus, solar systems are roughly divided according to energy production into:

- Direct generation of electricity through PV systems.
- Generation of thermal (water) through solar collectors.
- Hybrid systems for generating electricity and thermal through thermoelectric PV systems.

All solar systems use a particular load-bearing structure. The load-bearing structure may only be a system for placement at a certain inclination and orientation, or it may serve to improve the output of electricity and/or thermal production. Thus, structural systems are roughly divided into:

- Fixed PV systems.
- Single-axis PV tracking systems.
  - Horizontal single axis tracker (HSAT).
  - Vertical single axis tracker (VSAT).
  - Tilted single axis tracker (TSAT).
- Dual-axis PV tracking systems.
  - Tip-tilt dual axis tracker (TTDAT).
  - Azimuth-altitude dual axis tracker (AADAT).

The main purpose of the paper is to present a historical and technical overview of photovoltaic systems. The beginnings of photovoltaic systems date back to the mid-19th century and have become one of the most important renewable energy sources to this day. Research in the field of solar energy (photovoltaic systems) presents unlimited potential for improvement, both in terms of increasing the efficiency and functionality of entire systems. Increasing opportunities are emerging in the area of self-supply (PV systems) and energy storage systems. However, it all depends on policies and directives, both at the national and global levels. Additional description of historical and technical review of photovoltaic systems will be presented in full paper.

## REFERENCES

- <https://news.energysage.com/the-history-and-invention-of-solar-panel-technology/> (20. 1. 2020)
- Abdul Wahab, Ali Hassan, Muhammad Arslan Qasim, Hafiz Muhammad Ali, Hamza Babar, Muhammad Usman Sajid, "Solar energy systems – Potential of nanofluids," *Journal of Molecular Liquids*, Volume 289, 2019, 111049, ISSN 0167-7322, <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111049>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167732219323645>)
- Zogbi R, Laplaze D. Design and construction of a sun tracker. *Sol Energy* 1984;33:369–72. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(84\)90168-3](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(84)90168-3).
- Rumala S-SN. A shadow method for automatic tracking. *Sol Energy* 1986;37:245–7. [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90081-2](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(86)90081-2).
- Poulek V. Testing the new solar tracker with shape memory alloy actors. *Proc Conf Rec IEEE Photovolt Spec Conf* 1994:1131–3.
- Kalogirou SA. Design and construction of a one-axis sun-tracking system. *Sol Energy* 1996;57:465–9. [http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X\(96\)00135-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0038-092X(96)00135-1).

- Khalifa A-JN, Al-Mutawalli SS. Effect of two-axis sun tracking on the performance of compound parabolic concentrators. *Energy Convers Manag* 1998;39:1073–9. [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(97\)10020-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(97)10020-6).
- Photovoltaic Tracking Racks. Zomeworks Corp; 2014. <http://www.zomeworks.com/photovoltaic-tracking-racks/>
- Luque A, Andreev V. *Concentrator Photovoltaics* 130. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2007. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-68798-6>.
- <https://www.nasa.gov/centers/dryden/news/ResearchUpdate/Helios/> (20. 1. 2020)



# DEFEKTOSKOPIA MIKROFALOWA – DETEKcja DELAMINACJI WARSTWOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Przemysław SOBKIEWICZ<sup>1</sup>, Paweł BIEŃKOWSKI<sup>1</sup>, Wojciech BŁAŻEJEWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki

<sup>2</sup> Politechnika Wrocławska, Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej

## Wstęp

Testy nieniszczące materiałów kompozytowych są podstawą optymalizacji kosztów, kontroli powtarzalności oraz jakości wyrobu już od etapu produkcji. Obecne, komercyjnie proponowane metody mimo wielu zalet posiadają pewne granice stosowalności – w przypadku termograficznego testowania głębokość testu ograniczona jest do kilku milimetrów. Wykorzystanie ultradźwięków jest ograniczone przez wysoki poziom tłumienia i efektów rozpraszania sygnału. Tomografia komputerowa natomiast pomimo wysokiej dokładności wymaga zapewnienie odpowiednio ekranowego środowiska ze względu na wykorzystanie promieniowania jonizującego [1-2].

W tym kontekście wykorzystanie defektoskopii mikrofalowej w zakresie pasma Ka (26,0 – 40,0 GHz) ma wiele zalet włączając w to głębokość wnikania fal w ośrodku dielektrycznym, niskie poziomy mocy promieniowanej, możliwość skupiania promieniowanej wiązki głównej czy krótki czas dla uzyskania pożądanej informacji oraz poziom skomplikowania układu sondującego.

Poprawna detekcja rozmiaru i głębokości uszkodzeń (rozwarstwienia) możliwa jest dzięki ścisłemu powiązaniu fizycznych właściwości materiału z parametrami elektrycznymi, głównie względną przenikalnością elektryczną  $\epsilon_r$  oraz przenikalnością magnetyczną  $\mu_r$  [2]. Precyzyjne ustalenie zależności materiałowych stanowi kluczowy punkt dla oceny aktualnego stanu zastosowanego laminatu warstwowego.

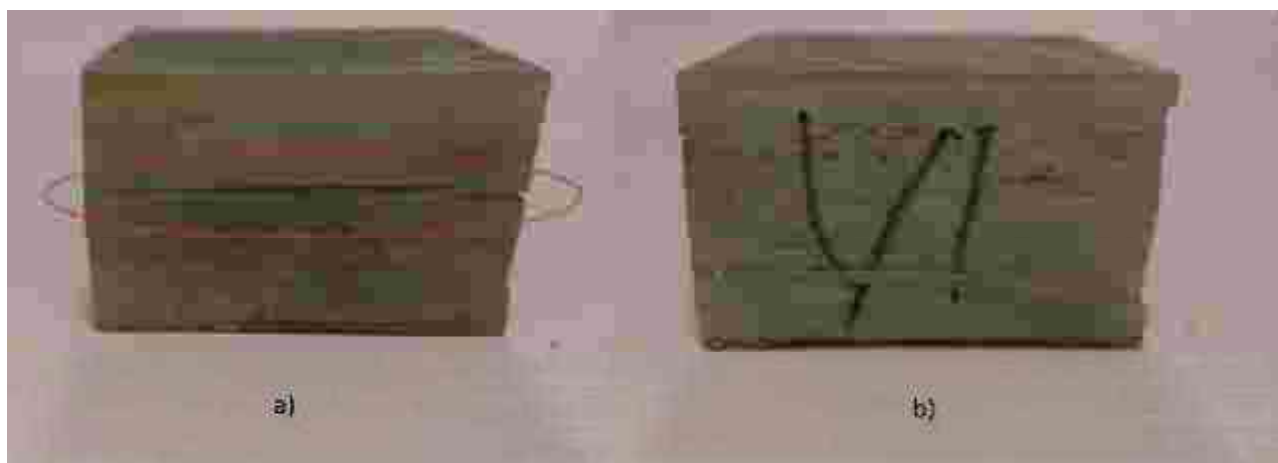
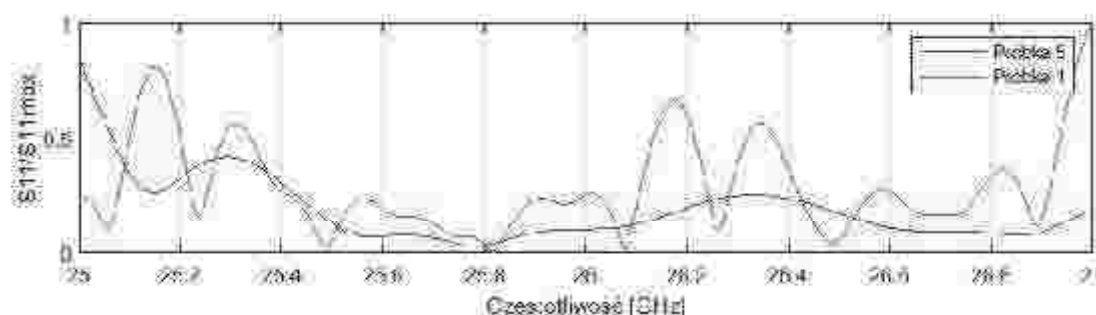
## Metoda

Detekcja rozwarstwień w materiałach kompozytowych możliwa jest dzięki pomiarowi współczynnika odbicia fali elektromagnetycznej (EM) w określonej płaszczyźnie odniesienia. Fala EM przechodząc pomiędzy ośrodkami o różnych impedancjach (w badanym przypadku kompozyt – przerwa – kompozyt) doświadcza odbić w skutek niedopasowania co w następstwie powoduje zmiany mierzonych amplitud parametrów macierzy rozproszenia -  $S_{11}$  dla metod odbiciowych oraz  $S_{12}$  dla metod transmisyjnych. Zmiana parametrów uwydatnia się dla analizowanego przypadku rurociągu ciepłowniczego ponieważ często w rozwarstwionych fragmentach znajdują się cząsteczki wody. Układ testowy wykorzystuje sondę pola bliskiego w postaci otwartego falowodu prostokątnego (metoda nierezonansowa). Układ z jedną sondą pozwala na analizę parametrów odbiciowych, zastosowanie dwóch sond skierowanych po przeciwnych stronach badanej próbki pozwala ocenić parametry transmisyjne.

Do badań wytypowano 10 próbek warstwowego materiału kompozytowego pobranych z demontowanego rurociągu elektrociepłowni w Stalowej Woli. Próbki mają kształt prostopadłościanów o wymiarach 4x6x6cm (5 szt.) i 2x6x6cm (5 szt.) - opisano je w tabeli 1 widok dwóch z nich przedstawiono na rysunku numer 1. Dla oceny rozdzielczości i dokładności metody przeprowadzono symulacje komputerowe w środowisku CST Microwave. Analizę porównawczą przeprowadzono wykorzystując różnice w zmienności w funkcji częstotliwości zasymulowanych wartości parametrów  $S_{11}$  dla próbek rozwarstwionych i nieuszkodzonych (rys. 2).

**Tabela 1.** Zestawienie próbek wytypowanych do badań defektoskopowych.

Numer próbki	Wymiary wys./gł./szer. [cm]	Rozwarstwienie
1 – 3	4 x 6 x 6	Horyzontalne, wzdłuż całej powierzchni – przykład rysunek numer 1a.
4 - 5	4 x 6 x 6	Brak – próbki nieuszkodzone – przykład rysunek numer 1b.
6 - 7	2 x 6 x 6	Brak – próbki nieuszkodzone.
8 - 10	2 x 6 x 6	Horyzontalne, wzdłuż całej powierzchni.

**Rys. 1.** Fragmenty a) rozwarstwowanego rurociągu - próbka numer 1, b) nieuszkodzonego fragmentu rurociągu – próbka numer 5**Rys. 2.** Parametr S11 macierzy rozproszenia zasymulowany dla próbki numer 1 i 5 z wykorzystaniem metody odbiciowej dla fragmentu analizowanego spektrum

Proponowana metoda pozwoli na detekcję rozwarstwień na podstawie zmienności parametrów odbiciowych i transmisyjnych unikając przy tym niedogodności związanych z innymi rodzajami testów nieniszczących. Rezultaty niniejszej pracy tworzą perspektywę rozwoju metody obrazowania mikrofalowego materiałów kompozytowych.

### Spis literatury

- [1] L. Chen i inni, *Microwave electronics measurement and materials characterization*, John Wiley & Sons, Chichester, Wielka Brytania 2004
- [2] Arthur R. Von Hippel, *Dielectrics and Waves*, Artech House Publishers, Norwood, Stany Zjednoczone 1995

# CHARAKTERYZACJA PARAMETRÓW ELEKTRYCZNYCH I WYTRZYMAŁOŚCI MECHANICZNEJ WARSTWOWYCH MATERIAŁÓW KOMPOZYTOWYCH

Przemysław SOBKIEWICZ<sup>1</sup>, Wojciech BŁAŻEJEWSKI<sup>2</sup>, Paweł BIEŃKOWSKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Katedra Telekomunikacji i Teleinformatyki

<sup>2</sup> Politechnika Wrocławska, Katedra Mechaniki, Inżynierii Materiałowej i Biomedycznej

## Wstęp

Dokładna znajomość parametrów mechanicznych i powiązanych parametrów elektrycznych kompozytów jest pożądana i wykorzystywana jako podstawowa własność dla obrazowania i defektoskopii mikrofalowej materiałów dielektrycznych. Dzięki ścisłemu powiązaniu fizycznych właściwości materiału z parametrami elektrycznymi, głównie względną przenikalnością elektryczną  $\epsilon_r$  oraz przenikalnością magnetyczną  $\mu_r$  możliwe jest określenie mechanicznych właściwości badanego materiału. W tym kontekście uzyskanie informacji o parametrach elektrycznych w zakresie mikrofalowego pasma Ka (26,0 – 40,0 GHz) jest podstawą dalszych prac rozwojowych. Pasma to wybrano ze względu na stosunkowo dużą głębokość wnikania fal w ośrodku dielektrycznym, wymagany niski poziom mocy promieniowanej, krótki czas potrzebny do uzyskania pożądanej informacji oraz akceptowalny poziom skomplikowania układu sondującego.

Istnieje wiele metod wyznaczania parametrów elektrycznych materiałów – zwykle metody te dzieli się na dwie podstawowe grupy: rezonansowe i nierezonansowe. W metodach odbiciowych właściwości elektryczne są najczęściej uzyskiwane na podstawie współczynnika odbicia fali elektromagnetycznej w określonej płaszczyźnie odniesienia. W praktyce do pomiaru stosuje się linie transmisyjnych o różnych konfiguracjach. Proponowany pomiar odbiciowy pozwala na uzyskanie parametrów badanego materiału w szerokim zakresie częstotliwości kosztem nieznacznego zmniejszenia precyzji względem metod rezonansowych.

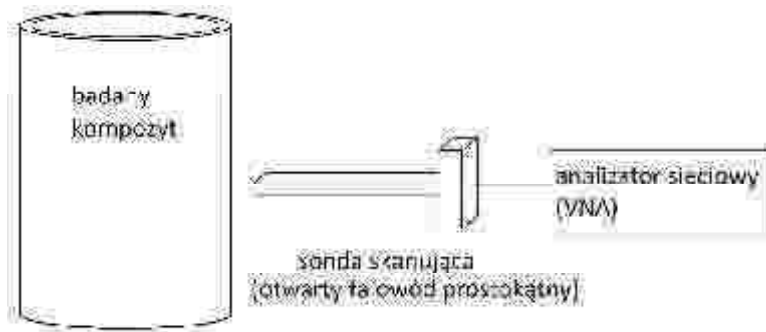
## Metoda

W omawianym opracowaniu podjęto się skorelowania wytrzymałości fragmentów rur kompozytowych wzmocnionych włóknami szklanymi a parametrami elektrycznymi materiału. Wykorzystano w tym celu nieniszczącą i nierezonansową metodę badań z użyciem sondy pola bliskiego w postaci otwartego falowodu prostokątnego o częstotliwości pracy 26,0 – 40,0 GHz.

Do badań wytypowano kilka fragmentów rur kompozytowych wzmocnionych włóknem szklanym celem poddania ich niszczącym testom zwiększając ciśnienie wewnątrz rury. Metoda opiera się na wielokrotnym pomiarze parametrów rozproszenia aby na podstawie współczynników odbicia  $S_{11}$  wyznaczyć wartości względnej przenikalności elektrycznej oraz przenikalności magnetycznej po każdorazowym zwiększeniu siły nacisku na ściany próbki. Przykładowy obiekt badań przedstawiono na rysunku numer 1.



Rys. 1. fragment uszkodzonej rury kompozytowej



**Rys. 2.** Schemat stanowiska pomiarowego

Zaproponowana metoda daje możliwości rozwoju mikrofalowych metod oceny wytrzymałości rurociągów kompozytowych i defektoskopii mikrofalowej.

### Spis literatury

- [1] L. Chen i inni, *Microwave electronics measurement and materials characterization*, John Wiley & Sons, Chichester, Wielka Brytania 2004
- [2] Arthur R. Von Hippel , *Dielectrics and Waves*, Artech House Publishers, Norwood, Stany Zjednoczone 1995

# STANOWISKO DO BADAŃ NIENISZCZĄCYCH Z ZASTOSOWANIEM AKTYWNEJ TERMOGRAFII W PODCZERWIENI

Olga SOCHACKA

Politechnika Częstochowska, Katedra Automatyki, Elektrotechniki i Optoelektroniki

Termografia aktywna w podczerwieni pozwala na pomiar temperatury danej próbki za pomocą promieniowania elektromagnetycznego. Dzięki tej technice możliwa jest detekcja, zapis, przetwarzanie oraz przedstawienie graficzne promieniowania podczerwonego transmitowanego przez badaną próbkę. Wynikiem badań są termogramy ilustrujące rozkład temperatury na powierzchni testowanej próbki. Badania, podczas których nie dochodzi do zmian właściwości danego obiektu nazywa się badaniami nieniszczącymi. Termografia aktywna pozwala na wykrywanie oraz charakteryzację nieciągłości materiałowych badanej próbki. Oprócz wykrywania defektów możliwe jest również oszacowanie parametrów defektów takich jak: kształt, głębokość czy opór cieplny.

## Budowa stanowiska laboratoryjnego

Stanowisko laboratoryjne (fot.1.) składa się z kamery IRS336 – NDT, źródła ciepła oraz komputera stacjonarnego z zainstalowanym oprogramowaniem do termowizyjnych badań nieniszczących IrNDT. Do komputera stacjonarnego doprowadzona jest karta akwizycji danych DAQ (NI USB – 6251). Dodatkowo zamontowano moduł sprzętowy AT IRXBOX służący do sprzętowego wyzwolenia rejestracji termogramów oraz akwizycji źródła stymulacji cieplnej. Zainstalowano również oprogramowanie LabVIEW firmy National Instruments, które umożliwia tworzenie nowych algorytmów wykrywania defektów w próbkach.



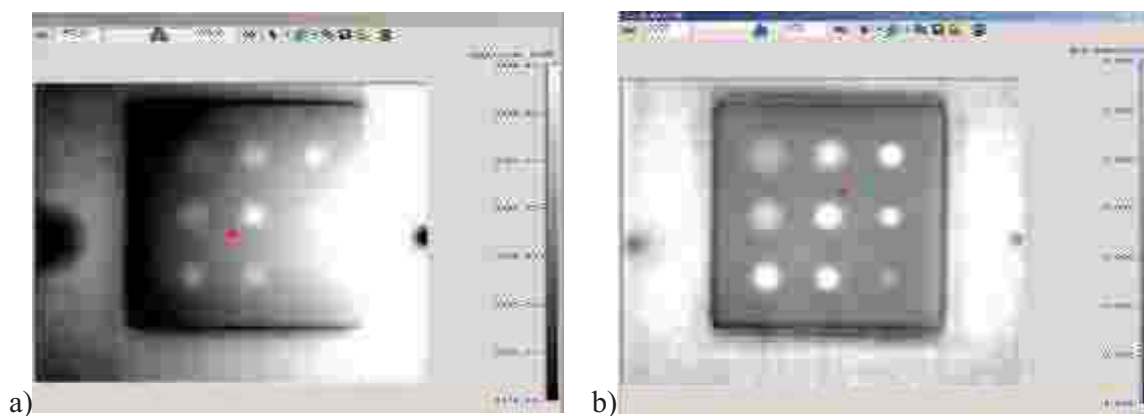
**Fot. 1.** Stanowisko do badań nieniszczących z zastosowaniem aktywnej termografii przy użyciu jednej lampy halogenowej o mocy 2,5 k W

## Badania eksperymentalne

Badania eksperymentalne mające na celu wykrywanie nieciągłości materiałowe analizowanych próbek zostały przeprowadzone na stanowisku laboratoryjnym do badań nieniszczących z wykorzystaniem termografii aktywnej. Do badań użyto próbki poliwęglanowej. Od spodniej strony nawiercono dziewięć nieprzelotowych otworów. Defekty powietrzne wykonano na głębokościach od 3,56 mm do 0,83 mm względem wierzchniej strony próbki.

## Metodyka badań eksperymentalnych

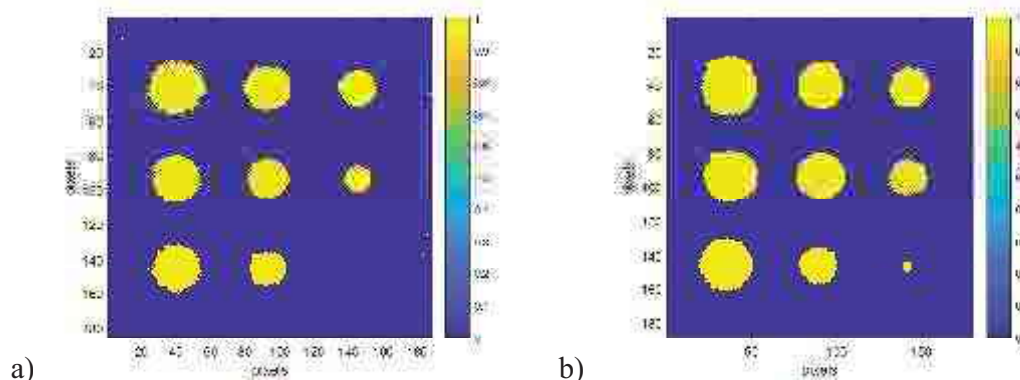
Badania eksperymentalne przeprowadzono w dwóch etapach. W pierwszym etapie próbkę poliwęglanową ogrzewano za pomocą jednej lampy halogenowej długim impulsem cieplnym o mocy 250 W. Fazy nagrzewania oraz stygnięcia były sobie równe i wynosiły po 30s. Częstotliwość próbkowania ustalono na 3 Hz. Zarejestrowano sekwencje termogramów powierzchni badanej próbki. Drugi etap badań polegał na ogrzewaniu powierzchni badanej próbki długim impulsem cieplnym o mocy 500W, a fazy nagrzewania i stygnięcia miały parametry identyczne jak w etapie pierwszym. Zarejestrowano sekwencje termogramów powierzchni badanej próbki. Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone poprzez dobranie metodą prób i błędów parametrów rejestracji sekwencji termogramów oraz źródła wymuszenia. Po odpowiednim doborze parametrów rejestracji oraz źródła wzbudzenia przeprowadzono analizę uzyskanych sekwencji (rys.1).



Rys. 1. Analiza sekwencji termogramów z wykorzystaniem a) jednej lampy, b) dwóch lamp

### Wyniki

Wykonano analizę sekwencji termogramów zarejestrowanych podczas badań eksperymentalnych. Następnie przetworzono sekwencje termogramów i przedstawiono wyniki binaryzacji termogramów w wybranej chwili czasowej. Do przetwarzania sekwencji wykorzystano oprogramowanie wykorzystujące metody cyfrowego przetwarzania obrazów. W dalszej kolejności przeanalizowano uzyskane sekwencje termogramów. Wykorzystano oprogramowanie Matlab w celu uzyskania zwiększonego kontrastu cieplnego między badaną próbką a defektem. Do tego celu wykorzystano metody progowania lokalnego.



Rys. 2. Wyniki binaryzacji termogramów w chwili czasowej  $\tau = 55s$  a) z wykorzystaniem jednej lampy, b) z wykorzystaniem dwóch lamp

### Wnioski

Stanowisko do badań nieniszczących z wykorzystaniem termografii aktywnej pozwala na wykrywanie defektów w badanych materiałach. Dzięki zastosowaniu różnych metod progowania możliwe jest efektywniejsze wykrycie defektów, które początkowo są mało widoczne na zarejestrowanych termogramach badanych próbek. Podczas analizy przeprowadzonych badań zauważono niejednorodności nagrzania powierzchni próbki. Najdokładniejsze wyniki binaryzacji otrzymano w końcowej fazie stygnięcia przy wykorzystaniu metod wykorzystujących filtry medianowe oraz dolnoprzestwowe Gaussa.

### LITERATURA

- [1] Maldague X. P., Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing, John Wiley&Sons, Inc., New York, (2001).
- [2] Świdorski W., Szabra D., Wójcik J., Nondestructive evaluation of aircraft components by thermography using different heat sources, QIRT, (2002), 79-83.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# WYKORZYSTANIE ADAPTACYJNEGO, NEURONOWO-ROZMYTEGO SYSTEMU WNIOSKOWANIA Z WYBOREM ZMIENNYCH EGZOGENICZNYCH DO PROGNOZOWANIA DOBOWYCH OBCIĄŻEŃ W SYSTEMIE ELEKTROENERGETYCZNYM

Janusz SOWIŃSKI

Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska

## Wstęp

Przebiegi obciążenia na poziomie spółek dystrybucyjnych charakteryzują się sporymi rozrzutami, związanymi z niestabilnym zachowaniem głównych odbiorców. Czynniki, od których zależy obciążenie, można podzielić na grupę określającą rytm dnia i tygodnia (godzina dnia, dzień tygodnia, niedziela i święta), grupę określającą typ odbiorcy (bytowo-komunalni, przemysłowi itp) i grupę określającą warunki pogodowe (temperatura, wilgotność, zachmurzenie, wiatr itp) [2, 3]. Kluczowym zagadnieniem w krótkoterminowym prognozowaniu staje się dobór wielkości wejściowych modelu. W artykule zaproponowano metodę Hellwiga wyboru zmiennych egzogenicznych i wykazano, że wskazany przez nią zestaw danych wejściowych prowadzi do dobrych rezultatów modelu prognostycznego ANFIS.

## Metoda wyboru zmiennych egzogenicznych

Do wyboru zmiennych wejściowych modelu prognostycznego wykorzystano metodę pojemności integralnych informacji Hellwiga [1]. Na podstawie oszacowania macierzy współczynników korelacji między poszczególnymi zmiennymi objaśniającymi i wektora współczynników korelacji między zmienną objaśnianą, a kolejnymi zmiennymi objaśniającymi obliczono tzw. indywidualne pojemności nośników informacji  $X_j$  o zmiennej endogenicznej  $Y$ , wchodzących w skład różnych kombinacji utworzonych z elementów danego zbioru zmiennych objaśniających. Zanieczyszczeniem indywidualnego nośnika informacji  $X_j$  nazywa się wielkość:

$$g_j = \frac{1}{k-1} \sum_{i \neq j} |r_{ij}| \quad (1)$$

Pojemność indywidualną nośnika informacji  $X_j$  o zmiennej  $Y$  określa następująca zależność:

$$h_j = \frac{r_j^2}{1 + \sum_{i \neq j} |r_{ij}|} = \frac{r_j^2}{1 + (k-1)g_j} \quad (i, j = 1, \dots, k; i \neq j) \quad (2)$$

Z kolei oblicza się pojemności integralne nośników informacji za pomocą następującego wzoru:

$$H_m = \sum_{j=1}^k h_j = \sum_{j=1}^k \frac{r_j^2}{1 + \sum_{i \neq j} |r_{ij}|} \quad (m = 1, 2, \dots, 2^k - 1) \quad (3)$$

Można wykazać, że parametr  $H_m$  jest wielkością unormowaną, zawartą w przedziale  $\langle 0, 1 \rangle$ . Jeżeli ta pojemność jest bliska jedności, oznacza to, że zmienne wchodzące w skład danej kombinacji dostarczają niemal pełnego zasobu informacji o zmiennej endogenicznej  $Y$ . Kryterium wyboru optymalnej kombinacji zmiennych egzogenicznych sprowadza się do następującego wyboru:

$$H_{mo} = \max_m H_m \quad (4)$$

gdzie:  $H_{mo}$  oznacza pojemność integralną nośników informacji dla optymalnej kombinacji zmiennych.

Prezentowany w artykule model prognostyczny może wykorzystywać zmienne przesunięte w czasie oraz zmienne pogodowe. Z uwagi na zmienność dobową obciążeń do analizy zaproponowano zmienne dotyczące

obciążeń jednego dnia w tygodniu (środa) przesunięte o jeden tydzień  $X_{t-24}$ , dwa  $X_{t-48}$ , trzy  $X_{t-72}$  i cztery tygodnie  $X_{t-96}$  oraz średnią dobową temperaturę powietrza  $\theta_{t-24}$  w tygodniu poprzedzającym występowanie obciążenia. W tabeli 1 zestawiono kombinacje zmiennych i odpowiadające im obliczone pojemności integralne nośników informacji  $H_m$ . Za optymalny należy uznać zestaw 5 danych, a kolejnym niewiele różniący się pojemnością  $H_m$  jest zestaw 6.

Tabela 1. Wyniki metody wyboru zmiennych egzogenicznych

Lp.	Kombinacja zmiennych	Pojemność integralna nośników informacji $H_m$
1	$X_t X_{t-24} X_{t-48} X_{t-72} \theta_{t-24}$	0.3714
2	$X_t X_{t-24} X_{t-48} \theta_{t-24}$	0.3641
3	$X_t X_{t-24} \theta_{t-24}$	0.2992
4	$X_t X_{t-24} X_{t-48} X_{t-72} X_{t-96}$	0.3720
5	$X_t X_{t-24} X_{t-48} X_{t-72}$	<b>0.3789</b>
6	$X_t X_{t-24} X_{t-48}$	0.3776

### Adaptacyjny neuronowo-rozmyty model wnioskowania ANFIS

System adaptacyjny wnioskowania rozmytego z wykorzystaniem sieci neuronowych ANFIS jest dobrym narzędziem do prognozowania szeregów chronologicznych o okresowej zmienności [6]. System ANFIS jest techniką uczenia danych, która wykorzystując zarówno logikę rozmytą, jak i sieci neuronowe, przekształca dane wejściowe na zmienną wyjściową [4]. System ANFIS wykorzystuje zbiory rozmyte [7] i zawiera moduł typowy dla technik identyfikacji [5]. Zbiór danych wejściowych podzielono na dwie części: część wykorzystywaną w procesie trenowania (uczenia) modelu ANFIS oraz część nie wykorzystywaną w procesie trenowania, lecz służącą w procesie weryfikacji modelu, dający Dysponujemy wartościami obciążeń elektrycznych  $X(t)$  dla  $t=1, \dots, T$  i średnich dobowych temperatur  $\theta(t)$ . Pełny zbiór danych wejściowych tworzy wielowymiarowy wektor wejściowy danych uczących  $w(t)=[\theta(t) \dots X(t-72) X(t-48) X(t-24) X(t)]$ , a dane wyjściowe zbioru uczącego odpowiadają trajektorii predykcji  $s(t)=A(t+24)$ . Dwudziestoczerogodzinne przesunięcie w danych wejściowych uzasadnia cykl zmienności dobowej obciążeń. Po zbudowaniu i weryfikacji modelu ANFIS możliwa jest predykcja.

### Rezultaty modelu ANFIS i wnioski

Błędy prognoz wygasłych modeli ANFIS z wariantowymi zestawami zmiennych endogenicznych potwierdziły, że wybór ich zestawu (zestawy 5 i 6) na podstawie pojemności integralnej nośników informacji prowadzi do wyboru modeli charakteryzujących się najniższymi wartościami błędu MAPE (odpowiednio 8,42 % i 8,30 %). Jako model kontrolny posłużył model prognozy naiwnej, dający błąd prognozy ex-post MAPE równy 9,49 %.

### Literatura

- [1] A. Barczak, J. Biolik, Podstawy ekonometrii, Wydawnictwo AE Katowice, Katowice 2003
- [2] Dobrzańska I., Dąsał K., Łyp J., Popławski T., Sowiński J.: Prognozowanie w elektroenergetyce. Zagadnienia wybrane. WPCz Częstochowa, 2002
- [3] Popławski T. (red), Dąsał K., Łyp J., Sowiński J.: Wybrane zagadnienia prognozowania długoterminowego w systemach elektroenergetycznych, WPCz Częstochowa, 2011
- [4] Jang J.-S.R.: ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System, IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, 23, 665, 1993
- [5] Rutkowska D., Piliński M., Rutkowski L.: Sieci neuronowe, algorytmy genetyczne i systemy rozmyte, PWN Warszawa, 1999
- [6] Sowiński J., Szydłowski M.: Forecast of Electricity Supply Using Adaptive Neuro- Fuzzy Inference System, in: Rusek S., Gono R., 18th International Scientific Conference on Electric Power Engineering, IEEE New York, 2017
- [7] Zadeh L.A.: Fuzzy sets. Information and Control, 8, 338, 1965

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.



# DYNAMIC MODELLING OF ONE-DIMENSIONAL MULTY-NODE ENERGY STORAGE TANK

Klemen SREDENŠEK, Iztok BRINOVAR, Gregor SRPČIČ  
Faculty of Energy Technology, University of Maribor

Bojan ŠTUMBERGER, Miralem HADŽISELIMOVIĆ, Sebastijan SEME  
Faculty of Energy Technology  
Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, University of Maribor

## Introduction

Thermal energy storage systems play an important role in energy management. Therefore, thermal energy storage system is a fundamental solution for increasing the availability of renewable energy sources in remote geographical areas. Energy storage tanks are used in several applications, as they enable: *i.* efficient balance between consumption and production; *ii.* reducing losses to the heating system, and reducing the number of starts and stops of the system; *iii.* reducing energy costs; and *iv.* increasing the use of renewable energy sources [1-5]. In theory, analytical and numerical models are used to calculate the parameters of energy storage tank. The analytical models that will be presented in more detail in the full paper and which form an essential part of this study are mostly zero-dimensional and / or one-dimensional models. Numerical models, however, represent two or three-dimensional parameter calculations using the finite element method (FEM), the boundary element method (BEM), the finite difference method (FDM), or / and the discrete element method (DEM). In addition to the huge number of variables, the models need to take into account the simulation time, which can be significantly increased due to the accuracy of the multi-dimensional models.

## Methodology

A one-dimensional model is defined as an area that is discretely distributed over several nodes with a fixed height in which the temperature is uniformly distributed [6-12]. The system dynamic response describes the time interval of a uniformly distributed temperature in each energy storage node, which is calculated by a first order differential equation for the energy balance in the system. Figure 1 presents the schematic description of energy balance in *i*-th node of the energy storage tank.

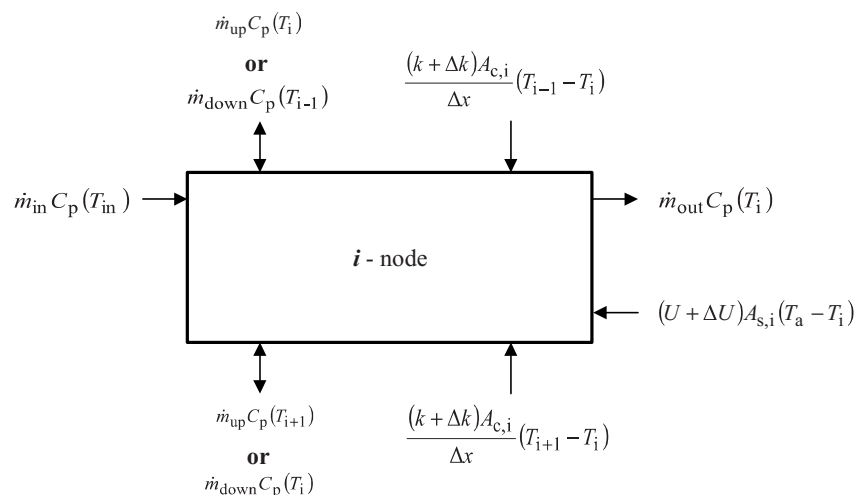
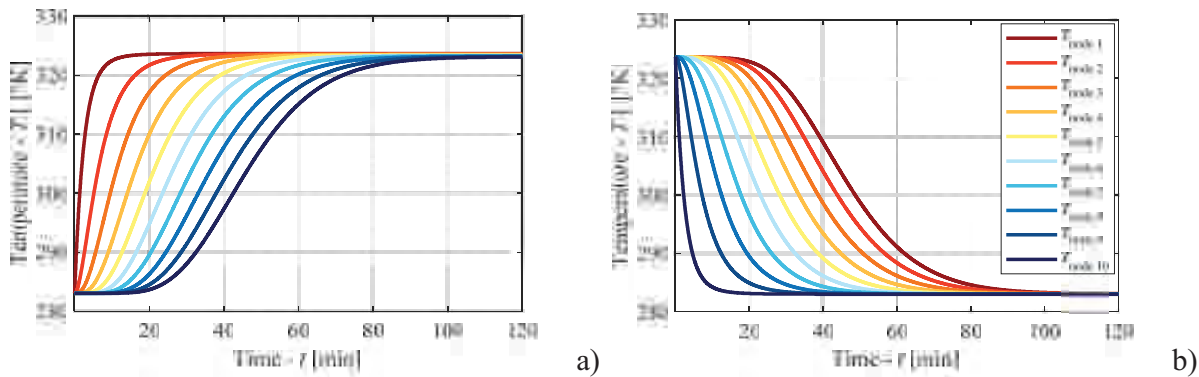


Fig. 1. Schematic description of energy balance in *i*-th node

## Results

Figure 2 shows the temperature of the working fluid in 10-node energy storage tank in the case of a) charge phase and b) discharge phase.



**Fig. 2.** Temperature of the working fluid in different nodes of the energy storage tank for a) charging phase and b) discharging phase

The results show that the mass flow of the working medium inside the energy storage tank is of great importance. Mass flow rate is one of the most important parameters for controlling the heating and / or cooling system. The analysis of multi-node models of the same geometry showed that by increasing the number of nodes of the model, we also increase the accuracy of temperature calculation in each node.

## Conclusion

In a research assignment, a dynamic one-dimensional energy storage tank model was analysed in the Matlab / Simulink software package. Zero, one, two and three dimensional models are used to determine the working medium temperature in energy storage tank, which can be calculated analytically or numerically. In the reviewed literature, different authors present problems with the speed of simulation of more accurate two- and three-dimensional models, therefore in this study we focused on the implementation of a one-dimensional model whose implementation is simplified but still sufficiently accurate. At the same time, one-dimensional multi-node models are also applied in software packages designed to actually calculate larger energy systems (e.g. TRNSYS). In the full paper the open, closed and hybrid systems will be presented for zero-dimensional and one-dimensional energy storage system.

## REFERENCES

- N. Cadau, A. De Lorenzi, A. Gambarotta, M. Morini, M. Rossi, " Development and Analysis of a Multi-Node Dynamic Model for the Simulation of Stratified Thermal Energy Storage ", *Energies*, vol. 12, pp. 1-22, 2019.
- B. J. Newton, "Modelling of solar storage tanks," Master's Thesis, University of Wisconsin-Madison, 1995.
- A. L. Nash, A. Badithela, N. Jain, " Dynamic modeling of a sensible thermal energy storage tank with an immersed coil heat exchanger under three operation modes," *Applied Energy*, vol. 195, pp. 877-889, 2017.
- J.G. Maveety, A. Razani, " A two-dimensional numerical investigation of the optimal removal time and entropy production rate for a sensible thermal storage system ", *Energy*, vol. 21(12), pp. 1265-1276, 1996.
- J.E.B. Nelson, A.R. Balakrishnan, S. Srinivasa Murthy, " Parametric studies on thermally stratified chilled water storage systems ", *Applied Thermal Engineering*, vol. 19(1), pp. 89-115, 1999.
- L. Kong, W. Yuan, N. Zhu, " CFD Simulations of Thermal Stratification Heat Storage Water Tank with an Inside Cylinder with Openings", *Procedia Engineering*, vol. 146, pp. 394-399, 2016.
- A. Abdulla, K.S. Reddy, " Effect of operating parameters on thermal performance of molten salt packed-bed thermocline thermal energy storage system for concentrating solar power plants ", *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 121, pp. 30-44, 2017.

- H. Yin, J. Ding, R. Jiang, X. Yang, " Thermocline characteristics of molten-salt thermal energy storage in porous packed-bed tank ", *Applied Thermal Engineering*, vol. 110, pp. 855-863, 2017.
- C. Martina, A. Bonka, M. Brauna, C. Odenthalb, T. Bauerb, " Investigation of the long-term stability of quartzite and basalt for a potential use as filler materials for a molten-salt based thermocline storage concept ", *Solar energy*, vol. 171, pp. 827-840, 2018.
- Y. F. Babaa, H. Ajdada, A. A. L. Mersa, Y. Grosb, A. Faikb, " Multilevel comparison between magnetite and quartzite as thermocline energy storage materials ", *Applied Thermal Engineering*, vol. 149, pp. 1142-1153, 2019.
- J. L. Sanz, F. C. Nuñez, F. Zaversky, " Benchmarking analysis of a novel thermocline hybrid thermal energy storage system using steelmaking slag pebbles as packed-bed filler material for central receiver applications ", *Solar Energy*, vol. 188, pp. 644-654, 2019.
- J. Raccanello, S. Rech, A. Lazzaretto, " Simplified dynamic modeling of single-tank thermal energy storage systems ", *Energy*, vol. 182, pp. 1154-1172, 2019.

# MODELOWANIE PRĄDU ZWARCIA W TRANSFORMATORZE NADPRZEWODNIKOWYM HTS 21 MVA

Paweł SURDACKI, Leszek JAROSZYŃSKI, Łukasz WOŹNIAK

Politechnika Lubelska

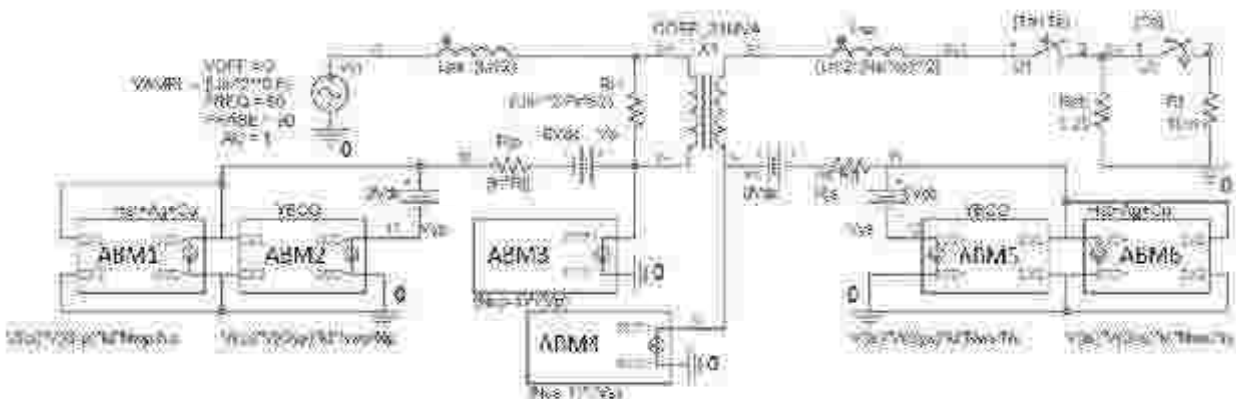
## Wstęp

Modele komputerowe transformatorów nadprzewodnikowych pozwalają na optymalny dobór rozwiązań konstrukcyjnych oraz na wykonanie badań numerycznych w sytuacjach, kiedy wykonanie eksperymentów laboratoryjnych jest utrudnione i prowadziłyby do zniszczenia modelu fizycznego.

W pracy przedstawiono komputerowy model transformatora nadprzewodnikowego HTS o mocy 21 MVA [1]. W modelu tym uwzględniono wpływ temperatury i prądu na właściwości cieplne i elektryczne uzwojeń wykonanych z dwóch rodzajów taśm nadprzewodnikowych drugiej generacji różniących się stabilizatorem miedziowym. Za pomocą potęgowego prawa Rhynera opisano przechodzenie do stanu rezystywnego warstwy nadprzewodnika YBCO [2]. Do wykonania nieliniowego rdzenia magnetycznego został wykorzystany zmodyfikowany model poziomego drugiego Jilesa-Athertona. Zaproponowany model umożliwił numeryczne wyznaczenie przebiegów prądów, rezystancji i temperatury uzwojeń podczas zwarcia transformatora nadprzewodnikowego 21 MVA.

## Model komputerowy transformatora nadprzewodnikowego w środowisku PSpice

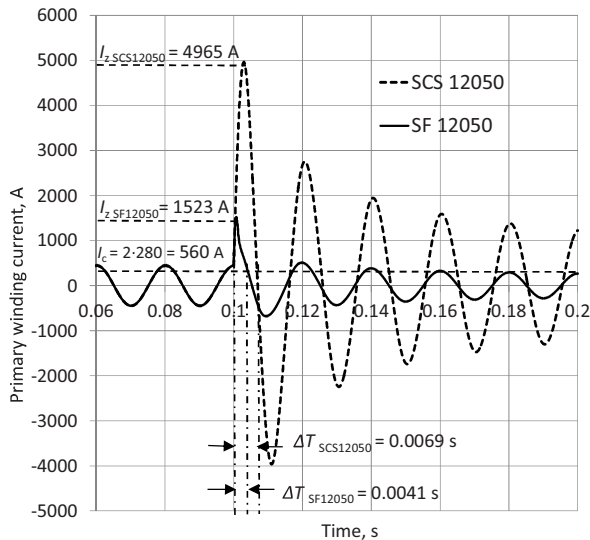
Do wykonania komputerowego modelu dwuuzwojeniowego transformatora nadprzewodnikowego HTS o mocy 21 MVA i napięciu 69.86/10.5 kV wykorzystano symulator obwodów elektrycznych PSpice. Model numeryczny zrealizowano przy użyciu bloków modelowania behawioralnego ABM (rys. 1) jako rozszerzenie zweryfikowanego modelu transformatora HTS o mocy 10 kVA [3, 4]. Do budowy uzwojeń zaproponowano dwa rodzaje warstwowych taśm nadprzewodnikowych YBCO: SCS12050 (z warstwą stabilizatora miedziowego) oraz SF12050 (bez stabilizatora) chłodzone kriogenicznie ciekłym azotem LN<sub>2</sub> o temperaturze 77 K. Do konstrukcji obwodu magnetycznego w modelu przyjęto rdzeń wykonany z blachy PN ET114-27, odizolowany cieplnie od uzwojeń, utrzymywany w temperaturze otoczenia. Do modelu nieliniowego rdzenia magnetycznego transformatora wykorzystano zmodyfikowany model Jilesa-Athertona poziomego drugiego, zaś płynne przechodzenie taśmy nadprzewodnikowej ze stanu nadprzewodzącego do rezystywnego opisano potęgowym prawem Rhynera. Warstwy podłoża taśmy (Haystelloy) i laminacji (srebro i miedź) modelowane są blokami ABM 1 i 6, warstwy nadprzewodnikowe YBCO - blokami 2 i 5. Bloki ABM 3 i 4 modelują parametry elektryczne pełnych uzwojeń.



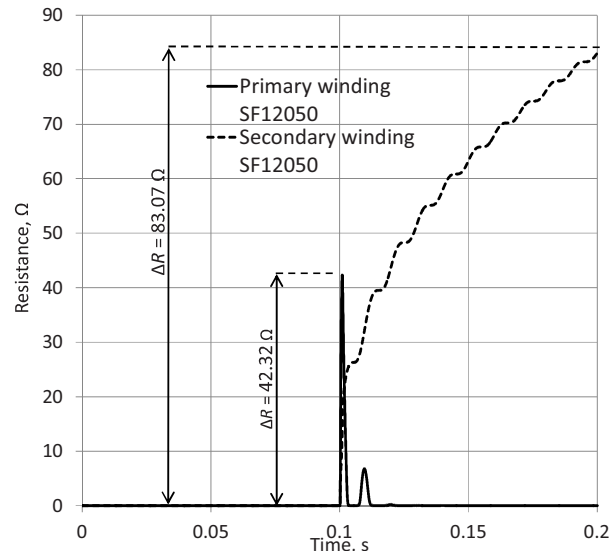
Rys. 1. Schemat zastępczy transformatora nadprzewodnikowego w środowisku PSpice 21MVA

## Wyniki badania prądu zwarcia w transformatorze nadprzewodnikowym

Przebieg prądu zwarcia transformatora nadprzewodnikowego z uzwojeniem pierwotnym wykonanym z taśmy SCS12050 oraz SF12050 przedstawiono na rys. 2. Prąd ten w uzwojeniu pierwotnym dla taśmy SCS12050 osiąga wartość 4 965 A, natomiast dla taśmy SF12050 bez laminacji miedzianej – wartość 1 523 A.



**Rys. 2.** Przebieg prądu uzwojenia pierwotnego podczas zwarcia transformatora dla uzwojeń z dwóch rodzajów taśm nadprzewodnikowych SCS i SF



**Rys. 3.** Przebieg rezystancji uzwojenia pierwotnego (primary winding) oraz wtórnego (secondary winding) wykonanego z taśmy nadprzewodnikowej SF12050

Zmianę rezystancji uzwojenia pierwotnego i wtórnego transformatora nadprzewodnikowego 21 MVA wykonanego z taśmy SF12050 bez warstwy stabilizatora miedzianego podczas przejścia ze stanu nadprzewodzenia do stanu rezystywnego przedstawiono na rys. 3. Rezystancja uzwojenia pierwotnego w chwili wystąpienia zwarcia rośnie do wartości 42,32 Ω, po czym zaczyna gwałtownie spadać. Może świadczyć to o tym, że uzwojenie pierwotne wykonane z taśmy SF12050 szybciej powraca do stanu nadprzewodzącego, ze względu na lepsze chłodzenie. W przypadku uzwojenia wtórnego rezystancja osiąga wartość 83,07 Ω po czasie 0,1 s od wystąpienia zwarcia.

Korzystając z opracowanego modelu komputerowego obliczono również przebiegi rezystancji obu uzwojeń wykonanych z taśmy nadprzewodnikowej ze stabilizującą warstwą miedzianą oraz przebiegi temperatury obu uzwojeń dla dwóch typów taśmy nadprzewodnikowej (SF12050 i SCS12050). Analiza tych przebiegów pozwoliła na sformułowanie wniosków dotyczących możliwości zastosowania obu typów taśm w transformatorach nadprzewodnikowych odpornych na zwarcia.

## Literatura

- [1] Kalsi S.S., High temperature superconductors to electric power equipment, IEEE Press, Wiley, 2011.
- [2] Janowski T., Wojtasiewicz G., Jaroszyński L., „Transformatory nadprzewodnikowe”, Instytut Elektrotechniki w Warszawie, ISBN 978-83-61956-54-9, 2016.
- [3] Wojtasiewicz G., Majka M., Kozak J., „Badania eksperymentalne transformatora nadprzewodnikowego 10 kVA”, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 3/2014, pp. 153-156.
- [4] Surdacki P., Jaroszyński L., Woźniak Ł., Limiting short-circuit current with a 10 kVA superconducting transformer, ELMECO & AoS Conference Proceedings, Nałęczów, 3-6

## GDZIE DEPONOWAĆ DANE BADAWCZE Z ZAKRESU ELEKTROMAGNETYZMU I BHP...

Witold SYGOCKI<sup>1</sup>, Ewa KORZENIEWSKA<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

<sup>2</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Instytut Systemów Inżynierii Elektrycznej

Od ponad dekady w środowiskach badawczych toczą się dyskusje na temat deponowania danych badawczych, szczególnie tych, powstających w wyniku prac finansowanych w ramach projektów narodowych, międzynarodowych. W 2013 roku powstała organizacja Research Data Alliance (RDA), zrzeszająca pracujących z danymi badawczymi, a Komisja Europejska uruchomiła Pilotaż Otwartych Danych Badawczych (Open Research Data Pilot), zasady uczestnictwa i upowszechniania danych w ramach programu Horyzont 2020<sup>1</sup>.

Należy tutaj wspomnieć o repozytoriach publikacyjnych środowiskowych i instytucjonalnych, w których deponowano publikacje Open Access. W chwili obecnej Narodowe Centrum Nauki wymaga we wnioskach grantowych formułowania zapisów dotyczących deponowania danych badawczych, zarówno surowych, jak i przetworzonych, co zostało określone w Wytycznych dla wnioskodawców dot. planu uzupełnienia danymi w projekcie badawczym<sup>2</sup>.

Coraz więcej wydawców czasopism znajdujących się w wykazie czasopism MNiSW oczekuje od autorów deponowania i udostępniania danych badawczych, które wykorzystano w opracowywaniu artykułów, czy też materiałów konferencyjnych. Publikacje indeksowane np. w bazie Scopus mogą odsyłać użytkowników do danych w repozytorium zewnętrznym, o czym informuje zakładka Related Research Data<sup>3</sup>.

O ile zagadnienia związane z elektromagnetyzmem można identyfikować z zakresem nauk ścisłych i medycznych, to już bhp stanowi pole badawcze związane z wieloma dyscyplinami z zakresu nauk ścisłych (np. zagrożenia biologiczne, chemiczne, fizyczne), społecznych (np. stres, mobbing, wypalenie zawodowe), medycznych (np. negatywne skutki zdrowotne, przepracowanie, wydatek energetyczny), zatem mamy do czynienia z interdyscyplinarnością prac.

Tytułem ilustracji zaprezentowano przykłady zasobów, deponujących i udostępniających dane badawcze w ww. zakresach.



Rys. 1. Widok fragmentu strony repozytorium ZENODO, wyniki na pytanie o: electromagnetic<sup>4</sup>

W tabeli poniżej przykłady dla: elektromagnetyzmu (electromagnetic)

**Tab. 1.** Repozytoria danych badawczych z zakresu elektromagnetyzmu (krajowe, międzynarodowe)

repozytorium	Adres WWW	Zakres tematyczny – subjects (m.in.)
ZENODO	<a href="https://zenodo.org/">https://zenodo.org/</a>	bez określonego zakresu – nauki ścisłe, społeczne, medyczne
JKU Magnetic Oxides Data Repository <sup>5</sup>	<a href="https://ord.fkp.jku.at/">https://ord.fkp.jku.at/</a>	magnetyczne półprzewodniki i tlenki, rentgenowska spektroskopia absorpcyjna, selektywna struktura pierwiastkowa i magnetyzm, funkcjonalne heterostruktury i interfejsy oraz zależny od częstotliwości rezonans magnetyczny
RepOD	<a href="https://reporod.icm.edu.pl/">https://reporod.icm.edu.pl/</a>	bez określonego zakresu – nauki ścisłe, społeczne, medyczne – przeznaczone dla tzw. małych danych

W tabeli poniżej przykłady dla: BHP (occupational safety and health)

**Tab. 2.** Repozytoria danych badawczych z zakresu bezpiecznego funkcjonowania człowieka w środowisku pracy (BHP) – (krajowe, międzynarodowe)

repozytorium	Adres WWW	Zakres tematyczny – subjects (m.in.)
RepOD	<a href="https://reporod.icm.edu.pl/">https://reporod.icm.edu.pl/</a>	bez określonego zakresu – nauki ścisłe, społeczne, medyczne – przeznaczone dla tzw. małych danych
Centers for Disease Control and Prevention, Data & Statistics	<a href="http://www.cdc.gov/DataStatistics/">http://www.cdc.gov/DataStatistics/</a>	medicine epidemiology, medical biometry, medical informatics public health, health services research, social medicine social sciences psychology basic biological and medical research medicine life sciences social and behavioural sciences humanities and social sciences biology
Mendeley Data	<a href="https://data.mendeley.com/">https://data.mendeley.com/</a>	bez określonego zakresu – nauki ścisłe, społeczne, medyczne

W zarysowanym powyższej materiale pojawiają przykłady, które mogą wywoływać następujące pytania:

- Czy środowisko naukowe w Polsce jest gotowe do deponowania danych badawczych?
- Czy repozytoria publikacyjne będą deponowały dane badawcze, bądź wskazywały ich źródła, podobnie jak to ma miejsce w rekordach w bazie Scopus?
- Czy ktoś korzystał z danych udostępnianych w repozytoriach bądź innych zbiorach przez innych badaczy, czy to pomogło w badaniach prowadzonych w danym środowisku, przyspieszyło uzyskanie oczekiwanych wyników?
- Czy deponowanie danych badawczych pomoże w budowaniu zespołów badawczych wykraczających poza rodzime afiliacje?

Pytania mają charakter otwarty, ich celem jest zmobilizowanie osób zainteresowanych postawienia tych pytań w swoim środowisku i poszukiwania na nie odpowiedzi.

Wymieniane repozytoria nie wyczerpują możliwości deponowania danych badawczych. W przyszłości będą się zapewne pojawiały kolejne inicjatywy na poziomie poszczególnych instytucji, jak też te ponadnarodowe. Takim przykładem jest europejska inicjatywa European Open Science Cloud (EOSC), gdzie Narodowe Centrum Nauki (NCN) jest organizacją wiodącą dla Polski. To udostępnianie wirtualnego środowiska ma umożliwić przechowywanie, udostępniania i ponowne wykorzystywanie zgromadzonych tam danych badawczych ze wszystkich dyscyplin badawczych – zatem także tych z zakresu elektromagnetyzmu i bhp<sup>6</sup>.

### Literatura:

- 1 Sygocki, W., Baka, Ł., Bugajska, J., Biernacki, A. (2020) Wybrane bazodanowe zbiory informacji z zakresu biomechaniki, fizjologii i psychologii. *Bezpieczeństwo Pracy Nauka i Praktyka*, 5, s. 21-25.
- 2 Wytyczne dla wnioskodawców do uzupełnienia PLANU ZARZĄDZANIA DANYMI w projekcie badawczym. Dostępne w WWW: [https://www.ncn.gov.pl/sites/default/files/pliki/regulaminy/wytyczne\\_zarzadzanie\\_danymi.pdf](https://www.ncn.gov.pl/sites/default/files/pliki/regulaminy/wytyczne_zarzadzanie_danymi.pdf) (data dostępu: 17.07.2020).
- 3 Informacja o danych badawczych w rekordach występujących w bazie Scopus. Dostępne w WWW: <https://blog.scopus.com/posts/new-on-scopus-link-to-datasets-search-funding-acknowledgements-and-find-more-citescore> (data dostępu: 17.07.2020).
- 4 Repozytorium ZENODO, electromagnetic. Dostępne w WWW: (<https://zenodo.org/search?page=1&size=20&q=electromagnetic&keywords=electromagnetic%20field> data dostępu: 7.08.2020).
- 5 JKU Magnetic Oxides Data Repository. Dostępne w WWW: <https://ord.fkp.jku.at/> (data dostępu: 7.08.2020).
- 6 Inicjatywa European Open Science Cloud (EOSC). Dostępne w WWW: <https://www.eosc-portal.eu/> (data dostępu: 24.08.2020).



# A ROBOTIC RESPIRATION PHANTOM WITH PATIENT DATA SYNCHRONIZATION FOR MEDICAL TOMOGRAPHY

Tomasz SZABAŁA<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>, Andres VEJAR<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

## Introduction

With the possibility to choose multiple algorithms for tomographic inversion [1]–[5] and in order to achieve a good performance, there is an extreme increment of complexity when the scenario is dynamic. With the combination of hardware, software and patient dependant variables, testing the health state of the lungs in dynamic conditions might seem as a difficult task. For example, by the use of time-dependent partial differential equations, the increment of model formulation complexity is enormous. Simplification of static techniques while testing the state of patient during research, could provide invalid results. That is the reason of the use of robotic phantom in medicine, e.g. to assure accurate dosage on radiotherapy [6].

We have designed a robotic pump–lung system, presented in Fig. 1 in which an elastic balloon is actuated to represent the lungs. With this system, we can recreate the alternating conditions of the human lungs. The phantom is submerged in an electrolyte tank, and it is analyzed by electrical excitation on the tank-electrolyte interface.

## System design

The diagram of Fig. 1 briefly describes how the system works. The real-time information, delivered by wearable biosignals sensor flows to the Medical Data Server. Sensors are installed onto a thoracic belt and they are operated by a small microcontroller. The sensors used are accelerometer, ECG, EMG and pulse using and opto-electronic sensor. They continuously send data, which is encoded into commands for the Robotic Respiration System. The Breathing synchronization process convert the biosignals to the actuator signals transmitted by the Microcontroller into the Robotic Respiration System. Robotic Respiration System is placed in a special tank, filled with electrolyte for the study of electrical tomographic imaging. Because of different conditions tested with the system, doing research on human patient is unpractical. The phantom dynamically imitate the behaviour of human lungs and with use of algorithms and changing the electrical excitation method, we can acquire data with respect to respiration biomechanics and accurately reproduce it with the Phantom system.

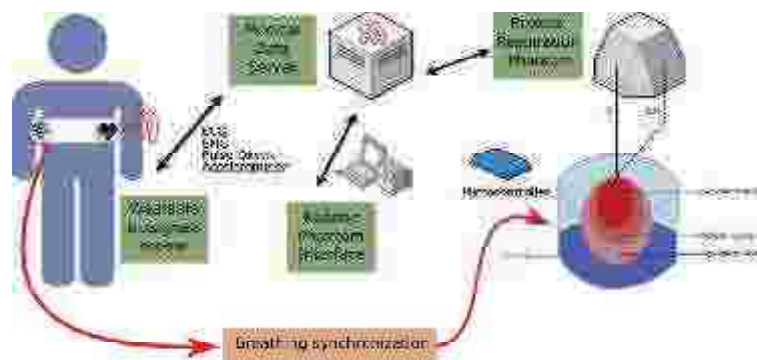


Fig. 1. Dynamic Phantom platform

In this project, we use a latex balloon as the actuator system. Fluid transfer allows to change the shape of phantom dynamically to replicate the movement of lungs. Transfer is provided by the pump system. Pump is operated by the microcontroller. It allows to dynamically pump-in and pump-out the balloon. In this pilot phase, we use an automated peristaltic pump. It generates enough pressure for our experiments.

### Tomographic tank

The Fig. 2 describes the tomographic tank system. Main reservoir is a 10L food-grade bucket. On the surface of the bucket, we placed 32 graphite electrodes made of HB-type 33 mm diameter graphite leads. Graphite electrodes are proven to be effective in bio-sensing. Graphite electrodes are placed in 3D printed holders and they are connected with small cooper plates and soldered to the wires. The balloon can variate its shape given a reference signal transmitted to the pump automatically using a microcontroller that control speed steps, pump switch direction. In this manner, the effect of the 3 points peristaltic actuation per cycle can be controlled.



Fig. 2. EIT tank system for Dynamic Phantom

### References

- [1] T. Rymarczyk, S. Filipowicz, and J. Sikora, "Level set methods for an inverse problem in electrical impedance tomography," *Zeszyty Naukowe. Elektryka/Politechnika Łódzka*, no. 114, pp. 105–108, 2009.
- [2] T. Rymarczyk, S. Filipowicz, J. Sikora, and K. Polakowski, "A piecewiseconstant minimal partition problem in the image reconstruction," *Przegląd Elektrotechniczny*, vol. 85, no. 12, pp. 141–143, 2009.
- [3] T. Rymarczyk, E. Kozłowski, G. Kłosowski, and K. Niderla, "Logistic regression for machine learning in process tomography," *Sensors*, vol. 19, no. 15, p. 3400, Aug 2019. [Online]. Available:
- [4] P. Tchorzewski, T. Rymarczyk, and J. Sikora, "Using topological algorithms to solve inverse problem in electrical impedance tomography," in *International Interdisciplinary Phd Workshop*, vol. 2016, 2016, pp. 46–50.
- [5] T. Rymarczyk, E. Kozłowski, and G. Kłosowski, "Electrical impedance tomography in 3d flood embankments testing – elastic net approach," *Transactions of the Institute of Measurement and Control*, vol. 42, no. 4, pp. 680–690, 2020.
- [6] E. Nioutsikou, J. R. N. Symonds-Taylor, J. L. Bedford, and S. Webb, "Quantifying the effect of respiratory motion on lung tumour dosimetry with the aid of a breathing phantom with deforming lungs," *Physics in Medicine and Biology*, vol. 51, no. 14, pp. 3359–3374, Jun. 2006, publisher: IOP Publishing.

# INFLUENCE OF CONTROLLED HIGH-CURRENT IMPULSES ON THE PARAMETERS OF THE MODELLED EQUIVALENT CIRCUITS OF LOW-VOLTAGE METAL-OXIDE SURGE ARRESTERS

Bartłomiej SZAFRANIAK, Paweł ZYDRÓŃ, Łukasz FUŚNIK

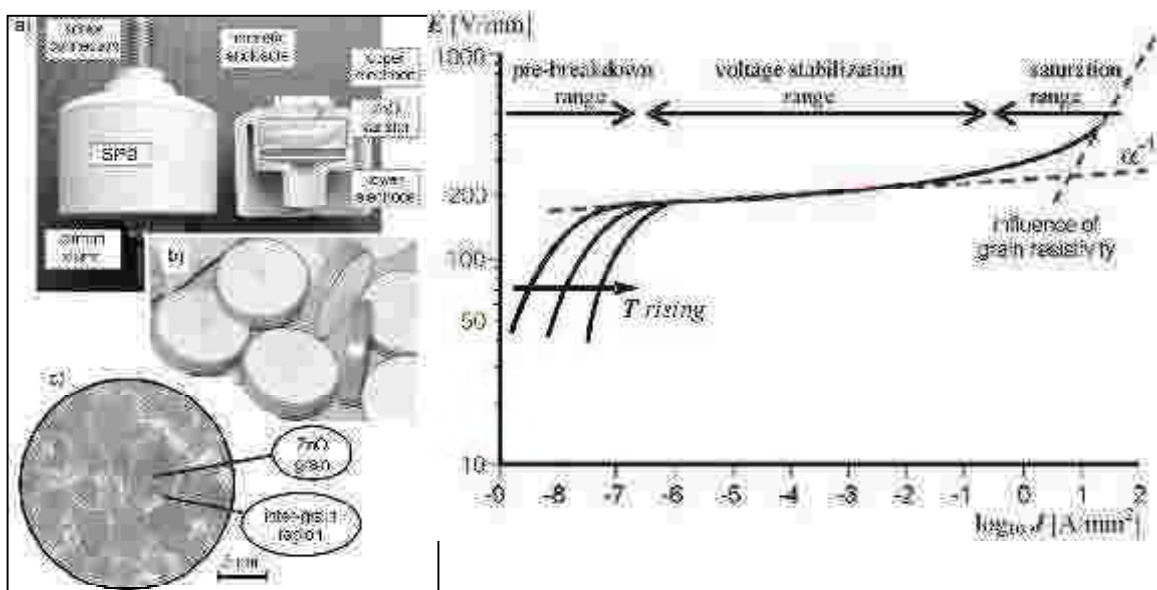
AGH University of Science and Technology, Kraków

## Introduction

Electrical devices working in the electrical networks and installations are subjected to various types of stresses during their operation. These stresses are the basic reason for initiation and development of aging processes for devices' construction materials. In the long term this results in serious degradation of functional components, affecting the reliability of the devices and the entire system. The development of degradation processes is associated with both the effects of nominal working exposures (thermal, electric, environmental, mechanical), as well as non-standard exposures occurring in networks (e.g. surges or short circuits).

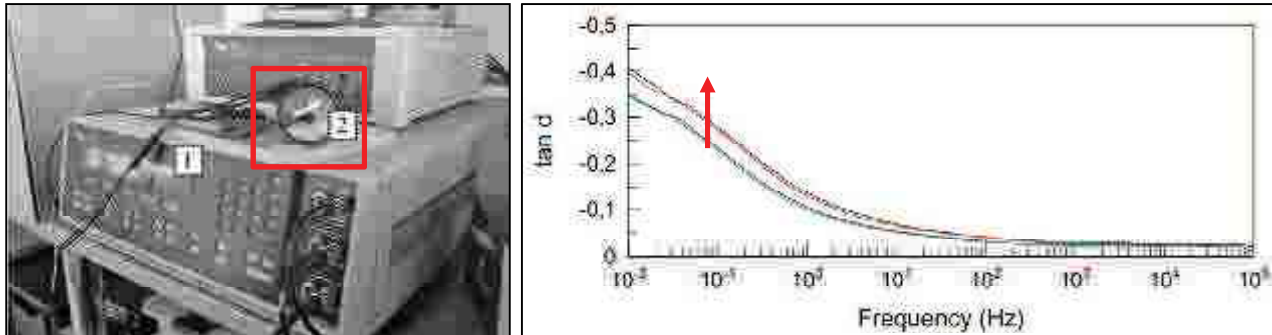
## Experiment

The topic of research is the analysis of the impact of energetic stresses on the properties/ parameters of metal-oxide varistors (MOV), being basic functional element of modern surge arresters. Presented work is of an experimental and analytical nature, and includes studies for comparison of the impact of stress energy on varistor structures, observed during repeated cycles of long-term energetic exposure (thermal/electrical) under controlled laboratory conditions. Figure 1 presents tested object (low-voltage surge arresters) and his typical characteristics of the electric field intensity dependence on the current density.



**Fig. 1.** A low voltage metal-oxide varistor as the main element of the surge protection device (SPD): a) example of the low voltage SPD design, b) manufactured disk varistors, c) the microscopic level varistor structure; Right side: A typical  $E = f(J)$  characteristic of zinc oxide varistor

The impedance spectroscopy method was used to observe changes in the dielectric properties of the tested metal-oxide varistors. This is a test method used to determine the physical and chemical properties of materials and electrochemical processes. It consists in measuring the linear, electrical response of the tested object as a result of stimulation with a small electromagnetic signal in a wide frequency band. Low applied voltage value allows treating the tested element, in presented case the varistor, as a linear element. Measuring stand included a Solartron 1260A frequency response analyzer, Solartron 1296A dielectric interface and a supervising computer (Fig. 2). On the right side were presented an exemplary of  $\text{tg}\delta(f)$  wideband characteristics of MOSA after exposures.



**Fig. 2.** Left: Configuration of a laboratory stand for measuring dielectric parameters of tested surge arresters: 1) wideband impedance measurement system (Solartron 1260 + 1296) 2) low-voltage (LV) surge arresters; Right side: An exemplary obtained results showing influence of energy exposures

## Conclusions

High energy stresses cause a permanent changes in the internal structure of the varistors, modifying also their low signal electrical characteristics. During varistor studies using impedance spectroscopy, changes in the wideband characteristics of dielectric parameters are observed. structural changes cause increase of conductive losses, which is evident in the very low frequency range of the  $\text{tg}\delta(f)$  characteristics (Fig. 2). The purpose of the work includes qualitative and quantitative determination of the impact of applied energy stresses on selected parameters of MOVs, development of wideband, low-signal varistors' equivalent schemes and determination of the impact of structural changes of varistor on parameters of these schemes. The obtained results can be used for development and verification of new low-voltage diagnostic methods of MOVs.

## References

- [1] Chrzan K.L.: Wysokonapięciowe ograniczniki prądów, Wrocław, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, 2003
- [2] Flisowski Z.: Technika wysokich napięć, Warszawa, PWN, 2017
- [3] Eda K.: Zinc oxide varistors, IEEE Electr. Insul. Mag., 1989; vol. 5; no. 6; 28-41
- [4] P. Zydroń, M. Bonk, Ł. Fuśnik, B. Szafraniak, Influence of temperature on parameters of low-voltage surge arresters' metal-oxide varistors investigated by impedance spectroscopy methods, Przegląd Elektrotechniczny, vol. 92, no 10, pp. 158-162 2016.
- [5] Hozer L.: Interpretacja procesu degradacji parametrów elektrycznych tworzywa warystorowego na bazie ZnO w warunkach pracy, Warszawa, Wydawnictwa Przemysłu Maszynowego WEMA, 1988
- [6] Pospieszna J., Jaroszewski M.: Wpływ oscylacyjnie tłumionych udarów napięciowych na zjawiska starzeniowe w ceramice warystorowej, Napowietrzna Izolacja Wysokonapięciowa w Energetyce NIWE-2007; 2007; 100-102
- [7] B. Szafraniak, P. Zydroń Ł. Fuśnik, Analysis of the influence of unequal current distribution on the heating of parallel connected LV MOV surge arresters Przegląd Elektrotechniczny; ISSN 0033-2097. — 2020 R. 96 nr 1, s. 44–47.

# UPROSZCZONA METODA OBLICZANIA TEMPERATURY KABLA ELEKTROENERGETYCZNEGO ŚREDNIEGO NAPIĘCIA

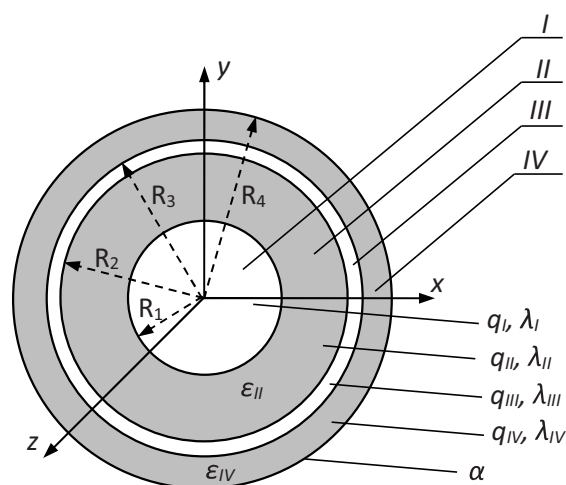
Tomasz SZCZEGIELNIAK, Paweł JABŁOŃSKI, Dariusz KUSIAK

Politechnika Częstochowska

W pracy przedstawiono analityczny model wyznaczania strat mocy oraz temperatury w kablu elektroenergetycznym średniego napięcia. Dokładne wyznaczenie mocy wydzielanej w kablu, a w konsekwencji jego temperatury jest bardzo skomplikowane. Straty mocy generowane w kablu uzależnione są od prądu oraz od napięcia. Straty zależne od prądu odnoszą się do ciepła generowanego w elementach przewodzących kabla (żyły roboczej oraz ekranie). Z kolei straty generowane w izolacji kabla związane są z napięciem roboczym. W niniejszym artykule wyznaczono straty mocy i temperaturę kabla uwzględniając zarówno straty występujące w izolacji jak elementach przewodzących prąd. Obliczenia wykonano dla przypadku kabla z izolowanym ekranem oraz z prądem powrotnym w ekranie. W obliczeniach uwzględniono zjawisko naskórkowości oraz zbliżenia.

Wzrost poziomu zużycia energii elektrycznej jest główną przyczyną rozwoju konstrukcji urządzeń elektrycznych służących do jej wytwarzania, przesyłania i użytkowania. W aglomeracjach miejskich o dużej gęstości zaludnienia, gdzie nie możliwe jest stosownie linii napowietrznych budowane są linie kablowe o dużej obciążalności prądowej. Duża wartość prądu przepływającego przez linię kablową wiąże się z wysokim emitowanym polem elektromagnetycznym oraz z dużymi stratami mocy objawiającym się w postaci generowanego ciepła [1-17].

Umiejętność określania maksymalnej wartości prądu który płynąc długotrwale w żyły roboczej kabla nie spowoduje przegrzania izolacji ma ogromne znaczenie praktyczne pozwala bowiem na optymalne wykorzystanie możliwości przesyłowych linii kablowej. Dopuszczalny prąd roboczy zależy zarówno od konstrukcji samego kabla jak i od parametrów fizycznych środowiska, w którym został ułożony [1-17]. Typowy kabel elektroenergetyczny średniego napięcia składa się z jednej lub kilku żył przewodzących prąd elektryczny oraz szeregu warstw pomocniczych pełniących funkcje izolacyjne, ekranujące i ochronne [5].



Rys. 1. Przekrój kabla elektroenergetycznego średniego napięcia

Zakładając, że żyła robocza stanowi przewód walcowy, zaś ekran jest przewodem rurowym (rys. 1), wyznaczono w pracy rozkłady gęstości prądu w obu elementach. Następnie korzystając z prawa Joule'a wyznaczono straty mocy w żyłce roboczej oraz ekranie. Straty dielektryczne w materiale izolacji wyznaczono ze wzoru:

$$W_d = 2\pi f C U^2 \operatorname{tg} \delta \quad (1)$$

gdzie:  $W_d$  – liniowe straty dielektryczne w izolacji kabla [W/m],  $f$  – częstotliwość [Hz],  $C$  – pojemność jednostkowa kabla [F/m],  $U$  – napięcie robocze [V],  $\varepsilon$  [F/m] i  $\operatorname{tg} \delta$  – parametry materiałowe izolacji.

Pojemności warstw izolacyjnych kabla wyznaczono ze wzorów:

$$C = \frac{2\pi\varepsilon_{II}l}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \quad \text{oraz} \quad C = \frac{2\pi\varepsilon_{IV}l}{\ln \frac{R_4}{R_3}} \quad (2)$$

Na podstawie wyznaczonych strat mocy określone zostały gęstości wewnętrznych źródeł ciepła. Następnie korzystając z równania Fouriera-Kirchhoffa wyznaczono rozkład temperatury wzdłuż przekroju poprzecznego kabla. Temperatura kabla określona została przy założeniu, że jego długość jest wielokrotnie większa od rozmiarów poprzecznych. Takie założenie pozwoliło przyjąć, że nie ma przepływu energii cieplnej w kierunku osiowym, natomiast cała energia cieplna wydzielana w kablu rozchodzi się promieniowo.

W pracy przedstawiono również obliczenia strat mocy i temperatury w funkcji prądu. Zaproponowaną analityczną metodę określania strat mocy i temperatury porównano z metodą elementów skończonych poprzez wykonanie obliczeń w oprogramowaniu Comsol.

## Literatura

- [1] Domke K., Grzybowski A., Nadolny Z., Rakowska A., Siodła K.: Wyznaczanie temperatury żyły roboczej kabla elektroenergetycznego wysokiego napięcia, *Przegląd Elektrotechniczny* R. 86, nr 11b, 2010.
- [2] Grobicki J., Germata M.: *Przewody i kable elektroenergetyczne*, WNT Warszawa 2012.
- [3] Kable do zastosowań w energetyce wiatrowej, *Tele-Fonika Kable*, [www.tfkable.com](http://www.tfkable.com)
- [4] Piątek Z.: *Modelowanie linii, kabli i torów wielkoprądowych*. Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2007.
- [5] Stępień J.C.: *Metody analizy i oceny niezawodności kablowych układów zasilających średnich napięć*, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 2011.
- [6] Goga V., Paulech J., Vary M.: Cooling of Electrical Cu Conductor with PVC Insulation – Analytical, Numerical and Fluid Flow Solution, *Journal of Electrical Engineering*, Vol. 64, No. 2, pp 92-99, 2013.
- [7] WenWei Zhu, YiFeng Zhao, ZhuoZhan Han, XiangBing Wang, YanFeng Wang, Gang Liu, Yue Xie, NingXi Zhu.: Thermal Effect of Different Laying Modes on Cross-Linked Polyethylene (XLPE) Insulation and a New Estimation on Cable Ampacity, *Energies* 2019, 12, 2994.
- [8] Olsen, R.; Anders, G.J.; Holboell, J.; Gudmundsdottir, U.S. Modelling of dynamic transmission cable temperature considering soil-specific heat, thermal resistivity, and precipitation. *IEEE Trans. Power Deliv.* 2013, 28, 1909–1917.
- [9] Wang, Y.; Chen, R.; Li, J.; Grzybowski, S.; Jiang, T. Analysis of influential factors on the underground cable ampacity. In *Proceedings of the IEEE Conference on Electrical Insulation Conference*, Annapolis, MD, USA, 5–8 June 2011; pp. 430–433.
- [10] Wang, P.; Ma, H.; Liu G. Dynamic Thermal Analysis of High-Voltage Power Cable Insulation for Cable Dynamic Thermal Rating. *IEEE Access*. 2019, 7, 56095-56106.
- [11] A. Faruk and B. Yunus, “Thermal modelling and analysis of high-voltage insulated power cables under transient loads,” *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 21, no. 3, pp. 516–529, Sep. 2013.

- [12] R. Hoerauf, “Ampacity application considerations for underground cables,” IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 52, no. 6, pp. 4638–4645, Nov./Dec. 2016.
- [13] R.S. Olsen, J. Holboll, and U.S. Gudmundsdottir, “Dynamic temperature estimation and real time emergency rating of transmission cables,” in Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, USA, Jul. 2012, pp. 1–8.
- [14] Gołębiowski J., and Zaręba M, “The simplified method for transient thermal field analysis in apolymeric DC cable,” Elect.Eng., vol. 93, no.4, pp. 209–216, Dec. 2011.
- [15] Y. Liang, Q. Liu, H. Sun, and Y. Li, “Cable load dynamic adjustment based on surface temperature and thermal circuit model,” in Proc. Int. Conf. Condition Monit. Diagnosis (CMD), Beijing, China, Apr. 2008, pp. 705–708.
- [16] F. C. Van Wormer, “An improved approximate technique for calculating cable temperature transients,” Trans. Amer. Inst. Elect. Eng. III, Power App. Syst., vol. 74, no. 3, pp. 277–281, Jan. 1955.
- [17] Demoulias C., Labridis D. P., Dokopoulos P. S., Gouramanis K. *Ampacity of Low-Voltage Power Cables Under Nonsinusoidal Currents*, Power Delivery IEEE Transactions on, 22 (2007), 584-594.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA EYE TRACKINGU W ANALIZACH AKTYWNOŚCI WIZUALNEJ OPERATORÓW MASZYN LEŚNYCH

**Grzegorz SZEWCZYK**

Uniwersytet Rolniczy, Wydział Leśny, Kraków

Stosunkowo niska wydajność, wysoki poziom zagrożeń środowiskowych, niekorzystne warunki środowiska pracy sprawiają, że coraz częściej mechanizuje się procesy pozyskania i zrywki drewna. Maszyny wielooperacyjne, harwestery, są stosowane w leśnictwie światowym już od około pięćdziesięciu lat. W Polsce pozyskuje się tak ok. 35% ogólnej miąższości drewna a liczba takich maszyn wzrosła od 2000-go roku kilkunastokrotnie i wynosi ok. 530.

Środowisko pracy w leśnictwie bada się od ponad 50 lat, w tym czasie charakter pracy zasadniczo się zmienił, od technologii na ręczno-maszynowym poziomie techniki do rozwiązań półautomatycznych. Już w latach 90. XX w. badano poziom stresu operatorów harwesterów za pomocą wskaźnika obciążenia zadaniami NASA (NASA TaskLoad Index TLX), które wykazały obciążenia mentalne odpowiadające symulowanym sytuacjom startu i lądowania pilotów samolotów myśliwskich.

Zmęczenie jest stanem neurofizjologicznym organizmu rozwijającym się podczas wykonywania pracy umysłowej lub fizycznej. Zjawisko to jest procesem wielokierunkowym a moment jego pojawienia się i dynamika rozwoju związane są z szeregiem czynników: rodzajem wysiłku i jego intensywnością, strukturą przerw w pracy, motywacją do wykonania zadania, stanem zdrowia, kondycją psycho-fizyczną oraz warunkami materialnymi środowiska pracy. Wprowadzenie specjalistycznych maszyn leśnych spowodowało pojawienie się form zmęczenia ośrodkowego wywołanego specyficzną pracą umysłową z obciążeniami psychicznymi, np. monotonią pracy i monotypią ruchów roboczych.

Praca operatora harwestera, obejmująca głównie komponent umysłowy, związana jest z rozpoznawaniem informacji wizualnych, ich segregacją i prowadzeniem nadzoru nad tymi, które są najbardziej istotne. Obejmuje między innymi ocenę warunków podłoża i określenie cech drzewostanu w nawiązaniu do przyjętej technologii pozyskiwania drewna, wykrywanie zbliżania ludzi i nadzorowanie sprzętu. Systemy wspomaganie decyzji korzystają głównie z graficznych interfejsów użytkownika z powodu problemów z wykorzystaniem sterowania dotykowego lub zaawansowanych bodźców słuchowych w środowisku wibrującym i hałaśliwym. Z tych powodów dokładne zrozumienie zachowań wizualnych rejestrowanych na taśmie filmowej jest ważne dla rozwoju bezpiecznych i wydajnych procedur pracy.

Proces poznawczy opiera się na serii krótkich momentów skupienia (fiksacji), pomiędzy którymi występują szybkie przemieszczenia gałek ocznych na kolejny obiekt (sakady). W badaniach aktywności wizualnej człowieka kluczowe było sformułowanie tezy o występowaniu sprzężenia pomiędzy ruchami oczu i zainteresowaniem obserwatora pewnymi fragmentami sceny wizyjnej. Analizy ruchu gałek ocznych (okulografia, *eye-tracking*), początkowo charakteryzujące tylko proces czytania, wykorzystywane są aktualnie w wielu dziedzinach wiedzy: psychologii rozwojowej, kognitywistyce, w systemach HCI, w medycynie. Rozwinięciem badań kognitywistycznych, których przedmiotem jest percepcja przez człowieka widzianego przez niego obrazu, są analizy sposobu wykonania zadań w procesach pracy. W analizach pracy na stanowiskach roboczych w leśnictwie związanych z zagospodarowaniem lasu, pozyskaniem czy zrywce drewna metody takie stosowane były dotychczas jedynie incydentalnie.



W zmiennych warunkach pracy operatora harwestera mogą być zastosowane eye-trackery mobilne. Rejestrowane jest w nich odbicie światła podczerwonego od oka, które następnie w toku analizy cyfrowej poddawane jest obróbce w czasie rzeczywistym co pozwala na określenie punktów, na które patrzył operator i nałożenie ich na ścieżkę filmu. Zasadniczym celem eyetrackingu jest określenie czasu trwania fiksacji i sakad oraz skonstruowanie map cieplnych i ścieżek skanowania wzrokiem sceny wizyjnej badanej osoby. Te ostatnie konstruowane są na pojedynczych klatkach zarejestrowanych filmów. Obraz taki, zwłaszcza przy dużej zmienności sceny wizyjnej operatora harwestera w środowisku leśnym jest mało czytelny. Z tego względu graficzny obraz aktywności wizualnej można wykonać w uproszczonej formie, z wykorzystaniem kalibracji obrazu i transformacji rzutowej oraz wektoryzacji wybranych elementów maszyny. Po włączeniu map cieplnych uzyskuje się efekt modelu wektorowego nałożonego na mapę cieplną. Filmy z nałożonymi punktami fiksacji skanowane są zazwyczaj przy pomocy standardowych filtrów Tobii Pro LabI-VT, zaznaczane są kolejne punkty fiksacji na snapshots (wybranych z filmów pojedynczych klatkach obrazujących przeciętnie wykonywaną operację).

Problemem w prostym przełożeniu dynamiki ruchów gałek ocznych na obciążenia psychiczne badanych osób jest wykorzystanie doświadczenia, które powinno „spłaszczać” obserwowaną zmienność aktywności oka. Jak podkreśla wielu autorów, istnieje seryjny komponent procesu przeglądania sceny wizyjnej, swoisty ślad pamięciowy, który sprawia, że w procesie analiz otoczenia wykorzystujemy nabyte wcześniej informacje. Ewentualnie występujące różnice w reakcjach pozwalają opisać poziom napięcia psychicznego badanej osoby (operatora harwestera) pracującego np. w warunkach stresu, np. podczas pracy maszyną na dużym spadku terenu.

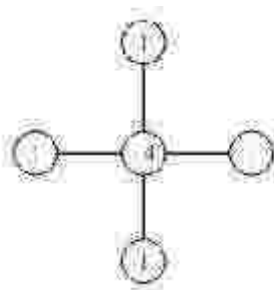
Czas trwania fiksacji można powiązać z przetwarzaniem gromadzonych informacji. Dłuższy czas trwania fiksacji świadczyć zatem może o większej trudności w przetwarzaniu, dłuższym czasie porównania oglądanego elementu z jego reprezentacją pamięciową lub. Uzyskane w toku badań operatorów harwesterek wyniki potwierdzają ogólną zasadę, że bardziej skomplikowane obrazy (z większą liczbą detali) determinują krótsze fiksacje. W przypadku procesów poznawczych przebiegających z dużą zmiennością, czyli tak jak dla operatora harwestera, czas ten może być dłuższy. Długie czasy trwania fiksacji mogą być związane z koniecznością pobierania dodatkowych informacji przy pracy w trudnym terenie.

Eye tracking, nie stosowany do tej pory w badaniach pracy w leśnictwie, może stanowić istotne uzupełnienie standardowych metod fizjologicznych stosowanych w analizach stanowisk roboczych, dokumentuje bowiem nie tylko efekt wykonywania pracy lecz również sposób jej wykonania.

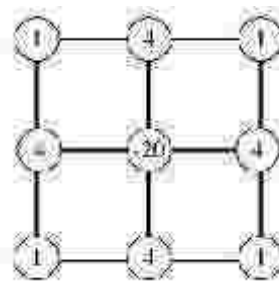
# ANALIZA PORÓWNAWCZA CYFROWEJ IDENTYFIKACJI NATĘŻENIA POŁA ELEKTRYCZNEGO PRZY POMOCY METODY RÓŻNICOWEJ Z CENTRALNYMI RÓŻNICAMI DRUGIEGO ORAZ CZWARTEGO RZĘDU

Dariusz SZTAFROWSKI, Jacek GUMIELA

Pola elektromagnetyczne generowane przez obiekty elektroenergetyczne mogą oddziaływać na środowisko. Jak dotąd nie dokonano wyczerpującej oceny skutków tego typu interakcji w przypadkach, kiedy natężenie składowej elektrycznej lub magnetycznej osiąga wysokie wartości. Mogą one wtedy w sposób zauważalny wpływać na zaburzenie procesów zachodzących w żywych organizmach [1]. Między innymi z tych właśnie powodów dąży się do ograniczenia obecności pól elektromagnetycznych w środowisku. Jest to regulowane odpowiednimi aktami prawnymi. W Polsce wartości maksymalne określa Rozporządzenie Ministra Zdrowia w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku [2]. Na terenach przeznaczonych pod zabudowę mieszkaniową składowa elektryczna nie powinna przekraczać wartości 1 kV/m, natomiast składowa magnetyczna nie może być wyższa niż 60 A/m. W celu sprawdzenia dotrzymania tych poziomów powszechnie stosuje się numeryczne metody identyfikacji natężenia rozkładów pola elektromagnetycznego [3]. Poszczególne metody mogą występować w różnych wariantach wynikających m. in. z symetrii układu, zastosowanych uproszczeń itp.



a)



b)

**Rys.1.** Węzły siatki elementów różnicowych wraz z ich wagami we wzorze na różnicę centralną  
a) drugiego rzędu, b) czwartego rzędu [4]

Stosowana do obliczeń rozkładu składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego metoda różnicowa posiada wiele odmian związanych z konstrukcją różnicy centralnej, przy pomocy której dokonuje się dyskretyzacji równania różniczkowego opisującego dane zagadnienie (Rys. 1) [4].

Od tego, ile wyrazów rozwinięcia w szereg Taylora zostanie wykorzystanych do wyliczenia wartości poszukiwanej funkcji w wybranym punkcie, zależy dokładność obliczeń. Jedną z konsekwencji przyjętego rzędu metody jest liczba punktów siatki, na podstawie których wyznaczana jest wartość poszukiwanej funkcji. Dla metody drugiego rzędu są to cztery punkty bezpośrednio sąsiadujące w pionie oraz w poziomie z punktem, dla którego wylicza się wartość funkcji  $\Phi$  w trakcie każdej iteracji (Rys. 1a).

**Tabela 1.** Wzór na wartość poszukiwanej wartości funkcji  $\Phi$  w dyskretnym punkcie siatki o współrzędnych  $[i,j]$ 

Rząd metody	Wartość funkcji $\Phi[i,j]$ w zależności od wartości funkcji w punktach sąsiadujących
drugi	$\Phi[i,j]=0,25*(\Phi[i-1,j]+ \Phi[i,j-1]+ \Phi[i+1,j]+ \Phi[i,j+1])$
czwarty	$\Phi[i,j]=0,2*(\Phi[i-1,j]+ \Phi[i,j-1]+ \Phi[i+1,j]+ \Phi[i,j+1])+$ $+0,05*(\Phi[i+1,j+1]+ \Phi[i+1,j-1]+ \Phi[i-1,j+1]+ \Phi[i-1,j-1])$

Dla metody rzędu czwartego oprócz wartości funkcji w punktach sąsiadujących w pionie i w poziomie dodatkowo brane są również punkty położone ukośnie w stosunku do punktu, dla którego wylicza się wartość funkcji  $\Phi$  (Rys. 1b). Wagi dla wartości z poszczególnych węzłów zamieszczono w Tabeli 1.

**Tabela 2.** Dokładność uzyskanych wyników w zależności od liczby iteracji oraz od zastosowanej metody

Rząd metody	Liczba iteracji	Błąd bezwzględny [kV]	Błąd względny [%]	Czas trwania obliczeń
2	1 000	14,637	6,65	00:00:05
2	10 000	6,844	3,11	00:00:42
2	100 000	6,168	2,80	00:06:56
2	1 000 000	6,105	2,77	01:09:39
4	1 000	10,558	4,80	00:00:06
4	10 000	8,272	3,76	00:00:52
4	100 000	2,407	2,41	00:08:26
4	1 000 000	2,016	2,02	01:23:05

W niniejszym artykule analizie obliczeniowej poddano rozkład pola elektrycznego generowanego przez linię napowietrzną o napięciu znamionowym 220 kV zbudowanej na typowych konstrukcjach słupów przelotowych typu H52. W tabeli 2 zestawiono wyniki symulacji, gdzie uwzględniono błąd względny z jakim wykonano obliczenia, całkowity czas trwania obliczeń dla określonej liczby iteracji oraz wybranego rzędu metody. Siatka elementów różnicowych składała się z 250 tys. węzłów, a wielkość oczka siatki wynosiła 10 cm.

### Wnioski

1. Zastosowanie metody różnicowej wyższego rzędu wpływa na poprawę zbieżności wartości funkcji potencjału elektrycznego. Daje się zauważyć efekt uzyskania rozwiązania o założonej dokładności po mniejszej liczbie iteracji.
2. Metoda różnicowa czwartego rzędu wymaga przeprowadzenia większej liczby operacji matematycznych w celu wyznaczenia wartości poszukiwanej wartości w danym punkcie siatki. W porównaniu do metody drugiego rzędu dwukrotnie większa jest liczba punktów, na podstawie których wylicza się wartość poszukiwanej funkcji w bieżącym kroku iteracji. Jest to głównym powodem wydłużenia czasu obliczeń dla pojedynczej iteracji
3. Metoda różnicowa wyższego rzędu może okazać się szczególnie zalecana dla zagadnień lub obszarów, gdzie gradient poszukiwanej funkcji jest duży. Kolejne wyrazy rozwinięcia szeregu odcinane w metodzie niższego rzędu nie zawsze są zaniedbywalnie małe i może to wносить dodatkowe błędy do obliczeń numerycznych podczas identyfikacji natężenia pola elektrycznego.

### Literatura:

- [1] M. Szuba i inni; Linie i stacje elektroenergetyczne w środowisku człowieka; wydanie 4; Biuro Konsultingowo-Inżynierskie „EKO-MARK”; Warszawa 2008.
- [2] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 17 grudnia 2019 W sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku.
- [3] M. Zeńczak; Estimation of electric and magnetic fields intensities under power transmission lines in real country conditions; Przegląd Elektrotechniczny; 7/2008; Warszawa; 2008.
- [4] Sadiku M. N.O.; Numerical Techniques in Electromagnetics; Second Edition; CRC Press; 2001.

# BADANIA WPŁYWU SKŁADOWEJ POLA MAGNETYCZNEGO 50 HZ NA WYBRANE PARAMETRY UKŁADU ODDECHOWEGO ORAZ TERMOREGULACJI CZŁOWIEKA

Dariusz SZTAFROWSKI<sup>1</sup>, Juliusz JAKUBASZKO<sup>2</sup>, Jacek GUMIELA

<sup>1</sup> Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki

<sup>2</sup> Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu, Zakład Medycyny Ratunkowej i Katastrof

## Wstęp

Użytkowaniu urządzeń pracujących na prąd przemienny towarzyszy emisja do środowiska wielu czynników fizycznych. Zaliczyć do nich możemy: hałas, ozon oraz pole elektryczne i magnetyczne. Dwa ostatnie z wymienionych czynników występują w środowisku naturalnym od niespełna 200 lat. Jest to element środowiska w którym żyją organizmy żywe na który wcześniej nie były ekspozowane.

Z powodu niewystarczającej znajomości oddziaływań wolnozmiennych pól elektromagnetycznych na materię ożywioną budowa nowych obiektów elektroenergetycznych, w tym napowietrznych linii wysokiego napięcia, często budzi zaniepokojenie oraz protesty ludzi zamieszkujących w ich bezpośrednim sąsiedztwie (Rys.1.). Jednocześnie należy zauważyć że analiza dostępnej literatury nie daje jednoznacznej odpowiedzi odnośnie wszystkich potencjalnych skutków zdrowotnych związanych z ekspozycją organizmu człowieka na wolnozmienną składową magnetyczną [1-7].

Z jednej strony wolnozmiennne pola magnetyczne znajdują zastosowania w leczeniu depresji tzw. przeczaszkowej stymulacji magnetycznej TMS z drugiej zaś strony wykazano, że stymulacja polami z tego zakresu częstotliwości na obszar mózgu zwany RTPJ może powodować zaburzenia w postrzeganiu moralnym otoczenia u osób poddanych takiemu działaniu.

W innej pracy z tego zakresu badań, opublikowanej w czasopiśmie naukowym *Proceedings of the National Academy of Sciences* (PNAS) w kwietniu 2009 roku wskazano, że pola tego typu mogą mieć również wpływ na zachowanie się zwierząt. Wykazano, że linie elektroenergetyczne wytwarzają w odległości mniejszej niż 500 metrów pole elektromagnetyczne, które zakłóca pole magnetyczne ziemi, w takim stopniu, że jest ono powodem dezorientacji zwierząt względem bieguna magnetycznego [8].

W ostatnich latach ukazało się wiele prac omawiających obserwowane efekty działania pól ELF- MF na organizmy żywe. Jednak nie wszystkie z efektów tych oddziaływań zostały dotychczas w pełni wyjaśnione, a w odniesieniu do niektórych z nich ścierają się przeciwstawne poglądy.

Z tego powodu ustawodawcy w większości państw wprowadzili ustawy mające na celu ograniczenie ekspozycji ludzi na działanie omawianych czynników fizycznych. W Polsce maksymalne natężenie dla składowej magnetycznej o częstotliwości sieciowej 50 Hz wynosi 60A/m w miejscach dostępnych dla ludzi i ekspozycji bez ograniczeń czasowych [9].

Zagadnienia te nie są jeszcze w pełni poznane i celowe jest kontynuowanie badań w tej dziedzinie.

Dlatego wiarygodna analiza tego typu zagadnień powinna być przedmiotem analiz naukowych specjalistów składających się z różnych dziedzin nauki, a uzyskanie obiektywnych wyników jest możliwe tylko na szczeblu prac interdyscyplinarnych.



Rys. 1. Rysunek ukazujący dwie linie 110kV w okolicach Wałbrzycha

#### **Materialy i metody zastosowane w badaniach**

W omawianych badaniach do ekspozycji ludzi w polu magnetycznym 50 Hz wykorzystano zaprojektowane i zbudowane w Zakładzie Elektroenergetyki Przemysłowej stanowisko badawcze. Konstrukcja prezentowanego stanowiska oparta została o układ cewek Helmholtza, które zapewniają wysoką jednorodność generowanego pola magnetycznego.

W badaniach uczestniczyła grupa 38 zdrowych ochotników w wieku od 20 do 68 lat. Wykonane badania dotyczyły oceny wybrane parametry układu oddechowego oraz termoregulacji człowieka u badanych osób.



Rys. 2. Przykładowy obraz monitora funkcji życiowych podczas prowadzonych badań

Wyniki uzyskanych badań poddano opracowaniu statystycznemu z wykorzystaniem komputerowego pakietu programów statystycznych EPIINFO Ver. 3.5.2. Wyniki analizowanych parametrów oraz wyniki ich statystycznego opracowania zestawiono w tabelach 1 oraz 2.

**Tabela 1.** Wyniki parametrów oddechowych i temperatury zewnętrznej ciała w badanej populacji przed ekspozycją pola magnetycznego 50 Hz

Badany parametr	Przed ekspozycją								p
	m	N	SD	MIN	MAX	25Q	M	75Q	
SpO <sub>2</sub> [%]	98,0	38	1,6	92,0	100,0	97,0	98,0	99,0	<b>0,000 14</b>
CO <sub>2</sub> [mmHg]	36,8	38	3,9	29,0	45,0	34,0	36,0	39,0	0,221
Temp [°C]	34,2	38	1,5	36,1	36,6	33,5	34,2	35,1	0,457

**Tabela 2.** Wyniki parametrów oddechowych i temperatury zewnętrznej ciała w badanej populacji po ekspozycji w polu magnetycznym

Badany parametr	Po ekspozycji								p
	m	N	SD	MIN	MAX	25Q	M	75Q	
SpO <sub>2</sub> [%]	98,6	38	1,2	96,0	100,0	98,0	99,0	100,0	<b>0,00014</b>
CO <sub>2</sub> [mmHg]	37,3	38	4,3	30,0	47,0	35,0	38,0	40,0	0,221
Temp [°C]	34,3	38	1,9	36,2	37,2	33,4	34,3	35,6	0,457

Wyniki analizowanych badań oraz wyniki ich statystycznego opracowania zestawiono w tabelach 1 – 2. W tabelach tych zastosowano następujące oznaczenia badanych wielkości (parametrów) oraz parametrów ich rozkładu statystycznego:

Symbole badanych wielkości:

- SpO<sub>2</sub> – saturacja tlenem krwi tętniczej, w [%],
- CO<sub>2</sub> – wydechowy dwutlenek węgla), w [mmHg],
- Temp – temperatura zewnętrzna ciała, w [°C].

Symbole parametrów rozkładu statystycznego badanych wielkości:

- - m – wartości średnie,
- - N – ilość badanych,
- - SD – odchylenie standardowe,
- - MIN – wartość minimalna,
- - MAX – wartość maksymalna,
- - 25Q – dolny kwartył,
- - M – mediana,
- - 75Q – górny kwartył,
- - p – value.

Dokonana szczegółowa analiza wyników z badań reakcji organizmów badanych osób na jednorodne pole magnetyczne 50 Hz pozwala na sformułowanie następujących stwierdzeń:

- zaobserwowano wzrost saturacji tlenowej po ekspozycji osób na pole magnetyczne 50 Hz. Zjawisko to może też być związane z ekspozycją na pole magnetyczne 50 Hz, które prawdopodobnie powoduje lepsze funkcjonowanie toru oddechowego;
- w trakcie ekspozycji nie zaobserwowano zmian temperatury ciała. Może to świadczyć o neutralnym charakterze pola magnetycznego 50 Hz w odniesieniu na system termoregulacji ustrojowej organizmów badanych osób.

#### Literatura

- [1] Jakubaszko, Juliusz, Dariusz Szafrowski, and Zbigniew Wróblewski. "Wpływ składowej magnetycznej pola elektromagnetycznego 50 Hz na zmiany hemodynamiki organizmu człowieka." (2014)
- [2] Szafrowski D., Wróblewski Z., Łukaszewicz M., Sikorski A., Majkowski M.: Magnetic field 50 Hz: its influence on living cells HL-60. W: 2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering [Dokument elektroniczny], Rome, Italy, 8-11 May 2011 / eds. M. Caciotta, Z. Leonowicz. [Piscataway, NJ] : IEEE, cop. 2011. s. 774-777
- [3] Wertheimer N., Leeper E.: Adult cancer related to electrical wires near home. American Journal Epidemiology, 1982, vol. 11, pp.345-355.
- [4] McBride M.L. i wsp.: Power-frequency electric and magnetic fields and risk of childhood leukemia in Canada. Am. J. Epidemiol, 1999, Vol. 149, pp. 831-842.
- [5] Linet M.S. i wsp.: Residential exposure to magnetic fields and acute lymphoblastic leukemia in children. N Eng. Journ. Med. 1997, vol. 337, pp.1-7.
- [6] Myers A. i wsp.: Childhood cancer and overhead power lines. A case-control study. Br. J. Cancer. 1990, vol. 62, pp. 1008-1011.
- [7] Ahlbom A.: A pooled analysis of magnetic field and childhood leukaemia. British Journal of Cancer, vol. 83, no. 5, pp. 692-698, 2000.
- [8] Burda H., Begall S., Červený J. Neef J. Němec P. Extremely low-frequency electromagnetic fields disrupt magnetic alignment of ruminants. PNAS. 2009.
- [9] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, z dnia 30 października 2003 w sprawie dopuszczalnych poziomów pól elektromagnetycznych w środowisku oraz sposobów sprawdzania dotrzymania tych poziomów.

# OBECNE I PRZYSZŁE STACJE UZUPEŁNIANIA ENERGII W POJAZDACH MECHANICZNYCH, PROBLEMY I SKUTKI ZASTĘPOWANIA POJAZDÓW SPALINOWYCH ELEKTRYCZNYMI

Dariusz SZTAFROWSKI, Robert KAZNOWSKI

Politechnika Wrocławska, Katedra Energoelektryki

W pracy przedstawiono możliwy stopień zastępowalności pojazdów spalinowych elektrycznymi na przykładzie wybranej stacji paliw zlokalizowanej na terenie Wrocławia przy jednej z galerii handlowych. Dodatkowo oszacowano, na ile panele fotowoltaiczne umieszczone na dachu galerii mogą odciążać sieć dostawcy energii.

Na koniec maja 2020r. w Polsce były zarejestrowane 11 653 pojazdy elektryczne, które dysponowały możliwością ładowania w 1173 stacjach ładowania<sup>1</sup>. Scenariusze rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w Polsce zawarte w raporcie „Polish EV Outlook 2020”<sup>2</sup> zakładają, że liczba samochodów całkowicie elektrycznych (BEV) może wynieść 280 tys. szt. w 2025 i blisko 900 tys. szt. w 2030r., zakładając aktywne wsparcie państwa. Prognozę rozwoju rynku pojazdów elektrycznych prezentuje poniższy wykres<sup>3</sup>:



Rys. 1. Scenariusze rozwoju rynku pojazdów elektrycznych w Polsce, PSPA

<sup>1</sup> <https://www.kierunekenergetyka.pl/artvku.76136.najnowsza-prognoza-rozwoju-elektromobilnosci-w-polsce.html> (dostęp 17.07.2020r.)

<sup>2</sup> idem

<sup>3</sup> Polish EV Outlook 2019, Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych i Frost & Sullivan, Warszawa 2019



Realizacja rozwoju elektromobilności w Polsce wymaga m.in. budowy stacji ładowania dla samochodów elektrycznych. Dla zapewnienia mobilności pojazdów w zakładanych powyżej ilościach potrzebne byłoby funkcjonowanie ok. 9 tys. stacji ładowania pojazdów elektrycznych w 2025r., zachowując relację do ilości pojazdów, które funkcjonują w Wielkiej Brytanii<sup>4</sup>, natomiast w raporcie Polish EV Outlook 2019<sup>3</sup> zakłada się, że liczba punktów ładowania zainstalowanych w stacjach ogólnodostępnych wzrośnie z obecnych 2,1 tys. do 40 tys. w 2025 r. i 91 tys. w roku 2030.

By pokazać skalę problemu związaną z realizacją planów zastąpienia samochodów spalinowych pojazdami elektrycznymi w artykule przedstawiono przykład w mikroskali. Zobrazowano sytuację możliwości zastąpienia tankowania pojazdów spalinowych ładowaniem pojazdów elektrycznych. W obliczeniach założono naładowanie baterii pojazdu o pojemności baterii 60 kWh od 20 - 80 % ładowarką o mocy 50 kW<sup>5</sup>.

Czas tankowania pojazdu spalinowego bez formalności związanych z płaceniem wynosi około 1 minuty (dystrybutor zapewnia wydatek 40 [l/min]). Oznacza to, że w czasie potrzebnym do naładowania pojedynczego pojazdu elektrycznego można by zatankować około 30 pojazdów spalinowych. Dlatego między innymi promotorzy rozwiązań e-mobilnych zakładają znaczny wzrost ilości stacji i punktów ładowania w stosunku do obecnie istniejącej sieci stacji paliw liczącej około 7700 jednostek<sup>6</sup>.

Problem naładowania odpowiedniej ilości pojazdów elektrycznych można rozwiązać zwiększając moc ładowarek lub ilość punktów ładowania. Obie te metody prowadzą do zwiększonego zapotrzebowania na moc. Moc ładowarek domowych to 2,3 [kW], darmowych słupków ładowania na prąd przemienny (AC) zawiera się w przedziale od 6,6 do 20 [kW] oraz szybkich ładowarek na prąd stały (DC) od 50[kW]<sup>7</sup>.

#### Tabela nr 1

Poniżej przedstawiono symulację „zastępowalności” stacji paliw stacją ładowania, która może składać się z punktów ładowania umieszczonych na parkingu galerii handlowej. Podstawowe parametry stacji ładowania zestawione są w tabeli poniżej

<b>Stacja ładowania</b>	
Moc pojedynczego punktu ładowania w [kW]	50
Czas ładowania w [h]	0,5
Energia zmagazynowana w [kWh]	23,75
Ilość punktów ładowania na stacji	8
Moc zainstalowana w [kW]	400

Na stację ładowania składają się ładowarki prądu stałego o mocy 50kW. Podczas ładowania ok. 5% energii to straty ładowarki w procesie ładowania. Po ładowaniu w czasie 30 min pełną mocą ładowarki, ilość energii w akumulatorach pojazdu wzrośnie o ok.23,75 kWh.

<sup>4</sup> UK now has more EV charging points than petrol stations, Smart Energy International, smart-energy.com

<sup>5</sup> Jerzy Gajewski, Wojciech Paprocki i Jana Pieriegud (red), E-mobilność: wizje i scenariusze rozwoju, Warszawa 2017

<sup>6</sup> Polish EV Outlook 2019, Polskie Stowarzyszenie Paliw Alternatywnych i Frost & Sullivan, Warszawa 2019

<sup>7</sup> dr Dr Jakub Zawieska, Infrastruktura ładowania pojazdów elektrycznych w Polsce, Instytut Infrastruktury, Transportu i Mobilności, Szkoła Główna Handlowa („Nowa Energia” – 4/2019)

**Tabela nr 2**

Zestawienie rzeczywistej przepustowości dobowej stacji paliwowej i teoretycznej przepustowości dobowej stacji ładowania akumulatorów trakcyjnych

Stacja paliw/stacja ładowania	Paliwa	Energia elektr.
Dobowa liczba pojazdów w szt.	454	384
Sprzedaż paliwa/energii na pojazd	21 [l]	23,75 [kWh]
Dobowa sprzedaż paliwa	9536 [l]	
Dobowa sprzedaż energii elektrycznej		9120 [kWh]
Niezbędna moc zainstalowana na stacji	46 [kW]	400 [kW]
Zasięg pojazdu z zakupionego paliwa/energii	350 [km]	135 [km]

W tabeli oszacowano średnią dobową ilość tankowanych pojazdów na przeciętnej stacji paliw<sup>8</sup> i zestawiono ją z możliwą ilością ładowania pojazdów w tym samym czasie i na takiej samej powierzchni. Zasięgi pojazdów oszacowano na podstawie informacji dotyczącej zużycia paliwa przez pojazdy kompaktowe<sup>9</sup> a zasięg pojazdów<sup>10</sup>

Powyższe zestawienie ukazuje, że nie da się w pełni zastąpić stacji paliw pod względem ilości pojazdów ładowanych na tej samej powierzchni stacji (8 stanowisk), a ilość energii, którą trzeba przeznaczyć na poruszanie się pojazdem do przebycia dystansu porównywalnego z pojazdem spalinowym jest przeszło dwukrotnie większa od założonej w przykładzie, co wymusi częstszą konieczność ładowania lub korzystanie z ładowarek o wyższych mocach. Oznacza to, że dla zapewnienia pełnej swobody w funkcjonowaniu systemu dla pojazdów elektrycznych musielibyśmy założyć, że niezbędna moc zainstalowana na takiej stacji może wynosić nawet 800 kW. Może to się okazać trudną do spełnienia barierą dla dostawcy energii, co wymusi wyższe koszty funkcjonowania całego systemu. Dodatkowo należy pamiętać, że obecnie przeciętny pojazd elektryczny posiadający akumulatory o pojemności 60 [kWh] ma zasięg ok. 250 km, który jest dwukrotnie niższy od pojazdu spalinowego. Wymusi to konieczność częstszego ładowania akumulatorów pojazdu w porównaniu z tankowaniem pojazdu spalinowego.

Zgodnie ze Strategią na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju w 2025r. po polskich drogach ma jeździć 1 mln pojazdów elektrycznych<sup>11</sup>. Według autorów opracowania<sup>12</sup> z punktu widzenia Krajowego Systemu Elektroenergetycznego wzrost zapotrzebowania na energię wywołany wprowadzeniem do eksploatacji miliona pojazdów elektrycznych wyniesie ok. 5% produkowanej energii elektrycznej w Polsce tj. 4,41 TWh. Autor podobnej analizy<sup>13</sup> również uznaje, że nawet duży wzrost pojazdów elektrycznych w transporcie drogowym będzie powodował raczej umiarkowane zapotrzebowanie na dodatkowe moce wytwórcze, zakładając, że przedsiębiorstwa energetyczne będą miały pewną kontrolę nad trybem ładowania aut. Wyliczenia tego modelu zakładają brak ograniczeń w sieci przesyłowej.

Brak ekonomicznych zachęt do ładowania poza godzinami szczytu może prowadzić do rozchwiania systemu energetycznego kraju poprzez powiększenie się różnicy pomiędzy zapotrzebowaniem szczytowym a pozaszczytowym na energię elektryczną w kraju. Istotnym problemem jest dostępność odpowiedniej mocy elektrycznej, która musi być dostarczona przy wykorzystaniu infrastruktury OSD.

<sup>8</sup> Raport roczny 2018, Polska Organizacja Przemysłu i Handlu Naftowego, Warszawa 2020

<sup>9</sup> <https://www.wyborcikierowcow.pl/60-najoszczedniejszych-aut-uzywanych-srednio-spalaja-mniej-niz-6-l-100-km/> (dostęp 17.01.2020r.)

<sup>10</sup> Andrzej MACIEJCZYK SAMOCHODY Z NAPĘDEM ELEKTRYCZNYM. MITY IRZECZYWISTOŚĆ, Autobusy : technika, eksploatacja, systemy transportowe, Radom 12/2017

<sup>11</sup> Ministerstwo Funduszy i Polityki Regionalnej, Strategia na rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju, Warszawa 2016

<sup>12</sup> Mgr inż. Paweł Bralewski, dr inż. Łukasz Szablowski, prof. dr hab. inż. Krzysztof Badyda, dr inż. Wojciech Bujalski, prof. PW, Instytut Techniki Ciepłej, Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Politechnika Warszawska, Perspektywy rozwoju elektromobilności w Polsce z Punktu widzenia Krajowego Systemu Elektroenergetycznego, „Nowa Energia”-4/2018

<sup>13</sup> Uroś RADOVIĆ, Wpływ samochodów elektrycznych na polski system elektroenergetyczny, emisję CO<sub>2</sub> oraz inne zanieczyszczenia powietrza, Zeszyty Naukowe Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią Polskiej Akademii Nauk nr 104, Warszawa 2018

# BADANIE WPŁYWU POLA ELEKTROMAGNETYCZNEGO O CZĘSTOTLIWOŚCI 2.1 GHZ NA ZDOLNOŚCI PSYCHOMOTORYCZNE

Grzegorz TATOŃ<sup>1</sup>, Artur KACPRZYK<sup>1</sup>, Tomasz ROK<sup>1</sup>, Anna WASIK<sup>2</sup>,  
Bartosz LISOWSKI<sup>1</sup>, Dominika DUDEK<sup>3</sup>, Eugeniusz ROKITA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Katedra Fizjologii,  
Zakład Biofizyki, Kraków

<sup>2</sup> Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Katedra Psychiatrii,  
Zakład Zaburzeń Afektywnych, Kraków

<sup>3</sup> Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Katedra Psychiatrii, Kraków

## Wstęp

Jedną z potencjalnych konsekwencji oddziaływania pól elektromagnetycznych z zakresu częstotliwości radiowych (RF-EMF) na układ nerwowy człowieka mogą być zaburzenia zdolności psychomotorycznych [1]. Wniosek taki można wysnuć m.in. na podstawie objawów zgłaszanych przez osoby deklarujące się jako dotknięte idiopatyczną nietolerancją środowiskową przypisywaną oddziaływaniu pól elektromagnetycznych (IEI-EMF – Idiopathic Environmental Intolerance attributed to Electromagnetic Fields). Najczęściej zgłaszanymi objawami, występującymi w ponad 2/3 badanych populacji są: zmęczenie, ból głowy, ból oczu, rozdrażnienie i trudności z koncentracją [2]. Objawy te mają niewątpliwy wpływ na czas i adekwatność reakcji, czyli na zdolność do wykonywania zadań wymagających koncentracji. Ponadto u osób elektrowrażliwych często współwystępują m.in. zaburzenia nastroju i zaburzenia lękowe [3]. Celem projektu jest badanie wpływu RF-EMF na zdolności psychomotoryczne oraz charakterystyka grupy wrażliwej na RF-EMF pod kątem temperamentów afektywnych.

## Material i metody

Badania prowadzone są z udziałem ochotniczek, które wykonują testy psychomotoryczne w obecności lub bez obecności RF-EMF w warunkach ślepej próby. Zastosowano pole o częstotliwości 2,157 GHz wytwarzane przez układ generatora sprzężonego z wewnętrzną anteną dookólną umieszczoną na suficie pomieszczenia, gdzie wykonywane były testy. Zastosowano generator Gator Transmitter (Berkeley Variatronics Systems, USA) i antenę Kathrein K 80010749 (KATHREIN-Werke KG, Niemcy). Natężenie składowej elektrycznej na stanowisku do przeprowadzania testów wynosiło około 2,5 V/m. Pola zewnętrzne nie były w żaden sposób ekranowane a natężenie składowej elektrycznej wszystkich częstotliwości komunikacyjnych w zakresie 900-3500 MHz wynosiło około 0,1 V/m. Pole wytwarzane przez zastosowany układ, jak i tło były kontrolowane za pomocą ekspozymetru ExpoM-RF (Fields at Work GmbH, Szwajcaria).

Do badań zaproszono kobiety, które poproszono o wypełnienie ankiet określających ich ogólny stan zdrowia, stan psychofizyczny przed badaniami i po badaniach (ankieta STAI-X [4]), jak również potencjalną wrażliwość na działanie pól elektromagnetycznych. Przeprowadzono ponadto ankietę TEMPS-A [5] mającą na celu określenie temperamentów afektywnych uczestniczek.

Testy psychomotoryczne przeprowadzane są z zastosowaniem oprogramowania ODOiA (Alfa Electronics, Polska) zainstalowanego na odpowiednio przygotowanym zestawie komputerowym (ekran dotykowy i słuchawki). W programie ODOiA zaimplementowano system psychologicznych testów komputerowych SIGMA [6]. Spośród szerokiej gamy wybrano trzy testy: komputerowy test szybkości i adekwatności reakcji (TSAR), komputerowy test koordynacji wzrokowo-ruchowej w układzie prostym w tempie dowolnym (TK-D) i narzuconym (TK-N) oraz komputerowy test uwagi i spostrzegawczości (KTUS).

Wszystkie parametry określone przez program wykorzystany do badań były zapisywane bezpośrednio a następnie przeliczane na skalę stenową [7].

Badanie prowadzone jest w trzech cyklach. W ramach każdego z nich uczestniczka badania wykonuje zawsze w tej samej kolejności wybrane testy. W pierwszych dwóch cyklach pole jest włączone, lub nie (jeśli jest włączone w pierwszym to jest wyłączone w drugim i odwrotnie). W trzecim cyklu pole zawsze jest włączone. Jednym z zadań osoby badanej jest określenie i opisanie swoich odczuć w trakcie wykonywania testów w poszczególnych cyklach i próba określenia, w którym z pierwszych dwóch cykli RF-EMF było obecne na podstawie swoich odczuć. Uczestniczki oceniały samopoczucie w skali 0-5 („0” – bardzo złe, „5” – bardzo dobre).

Wyniki ilościowe uzyskiwane w testach psychomotorycznych i odczucia uczestniczek badania były korelowane z obecnością RF-EMF podczas badania. Wyniki korelowane są zarówno z prawdziwą ekspozycją, jak i z ekspozycją postrzeganą przez ochotniczki. Statystyczna analiza danych prowadzona jest w oparciu o oprogramowanie Statistica 13.3 (TIBCO Software Inc, USA). Do oceny statystycznych różnic pomiędzy zmiennymi stosuje się test Wilcozona.

### Wyniki i wnioski

Badania są nadal prowadzone w celu osiągnięcia odpowiednio dużej liczebności grupy badanych. W tabeli poniżej prezentowane są najciekawsze wyniki uzyskane dotychczas na grupie 29 kobiet. Pozwalają one na sformułowanie jedynie wstępnych wniosków.

Subiektywna ocena samopoczucia i wyniki ilościowe testów psycho-motorycznych zostały porównane (Tabela 1). Pierwsze porównanie pokazane w tabeli dotyczy wyników uzyskanych dla cykli, w których pole było obecne i nieobecne według oceny badanych osób (Ekspozycja odczuwana). Porównano również parametry określające samopoczucie i sprawność psychomotoryczną w przypadku, gdy ekspozycja na RF-EMF miała realnie miejsce i gdy jej nie było (Ekspozycja realna).

**Tabela 1.** Wyniki niektórych parametrów określanych w badaniach (wartość  $\pm$  SE (mediana)). Wyniki testów psychomotorycznych zostały wyrażone w skali stenowej (1-10)

Parametr	Ekspozycja odczuwana		Ekspozycja realna	
	RF-EMF ON	RF-EMF OFF	RF-EMF ON	RF-EMF OFF
Samopoczucie (0-5)	3,54 $\pm$ 0,04 (3,5)	4,04 $\pm$ 0,03 (4)	3,93 $\pm$ 0,04 (4)	3,83 $\pm$ 0,04 (4)
Czas reakcji TK-D	4,68 $\pm$ 0,09 (4)	5,45 $\pm$ 0,07 (5,5)	5,00 $\pm$ 0,07 (5)	4,83 $\pm$ 0,08 (4)
Czas reakcji TK-N	4,64 $\pm$ 0,09 (3)	5,04 $\pm$ 0,08 (5)	4,79 $\pm$ 0,07 (5)	4,31 $\pm$ 0,09 (4)
Czas reakcji TSAR	6,59 $\pm$ 0,09 (7)	7,23 $\pm$ 0,08 (7)	6,79 $\pm$ 0,08 (7)	6,59 $\pm$ 0,09 (6)
Czas motoryczny TSAR	4,50 $\pm$ 0,08 (4)	4,41 $\pm$ 0,07 (4)	4,34 $\pm$ 0,07 (4)	4,45 $\pm$ 0,07 (4)
Liczba błędów TSAR	5,14 $\pm$ 0,11 (5)	5,77 $\pm$ 0,10 (5)	5,14 $\pm$ 0,10 (5)	5,41 $\pm$ 0,10 (5)
Czas reakcji KTUS	6,82 $\pm$ 0,10 (8)	7,73 $\pm$ 0,08 (8)	7,62 $\pm$ 0,07 (8)	7,28 $\pm$ 0,10 (8)

Wydaje się, że w większości przypadków różnice pomiędzy parametrami wyznaczanymi dla cykli określanych przez osoby badane według ich odczucia (kolumny 2. i 3.) są większe, niż różnice dla realnej ekspozycji i braku pola (kolumny 4. i 5.). Może to wskazywać na psychologiczny wpływ pola na badane osoby. Opisują one swoje samopoczucie jako gorsze i nieco gorzej wykonują testy, gdy są przekonane, że RF-EMF jest włączone. Realna obecność RF-EMF ma natomiast mniejsze znaczenie. Niestety wniosek ten może być przedwczesny, gdyż zastosowane testy statystyczne nie wykazały istotnych statystycznie różnic w żadnym przypadku.

Na podstawie analizy wyników TEMPS-A Zaobserwowano istotną statystycznie różnicę w natężeniu temperamentu depresyjnego w grupie osób deklarujących niekorzystny wpływ pola na ich samopoczucie ( $p=0,0027$ ), co jest zgodne z doniesieniami literaturowymi [3].

## Literatura

- [1] Foerster M, Thielens A, Wout J, Eeftens M, Rössli M, A Prospective Cohort Study of Adolescents' Memory Performance and Individual Brain Dose of Microwave Radiation from Wireless Communication, *Environ Health Perspect*, 2018, 126 (7): 0770071-13
- [2] Tatoń G, Kuterba P, Lisowski B, Rok T, Rokita E, Nadwrażliwość elektromagnetyczna w Polsce – badania ankietowe, *Przegląd elektrotechniczny*, 2019, 95(12): 224-8
- [3] Gruber MJ, Palmquist E, Nordin S. Characteristics of perceived electromagnetic hypersensitivity in the general population. *Scand J Psychol*. 2018, 59(4):422-427. doi:10.1111/sjop.12449
- [4] Julian L, Measures of anxiety: State-Trait Anxiety Inventory (STAI), Beck Anxiety Inventory (BAI), and Hospital Anxiety and Depression Scale-Anxiety (HADS-A), *Arthritis Care and Research*, 2011, 63 (SUPPL. 11): 467–472
- [5] Dembińska-Krajewska D, Rybakowski J, Skala TEMPS-A (Temperament Evaluation of Memphis, Pisa and San Diego Autoquestionnaire) – ważne narzędzie do badania temperamentów afektywnych, *Psychiatr Pol*, 2014, 48(2): 261-76
- [6] <http://www.alfa-electronics.eu/>
- [7] Hornowska E: Testy psychologiczne. Teoria i praktyka. Warszawa: Scholar, 2007, s. 136. ISBN 978-83-7383-238-1

# WPŁYW STRUKTURY SYGNAŁU INFORMACYJNEGO NA STOPIEŃ ZAANGAŻOWANIA MENTALNEGO OPERATORA SYSTEMU INFORMATYCZNEGO

Karolina TRZYNIEC, Dawid KĄDZIOŁA

Wydział Inżynierii Produkcji i Energetyki, Uniwersytet Rolniczy, Kraków

Neuroanatomiczne podłoże procesów uwagi obejmuje wiele struktur, jednak główną rolę odgrywają dwa ośrodki: tylna część płata ciemieniowego (odpowiedzialna m.in. za uwagę wzrokową i przeszukiwanie percepcyjne) oraz prawy płat czołowy (odpowiedzialny m.in. za czujność uwagi, długotrwałe koncentrowanie się) [1]. Psychodiagnostyka od dawna dysponuje szeregiem metod, przede wszystkim prób klinicznych, które z powodzeniem są wykorzystywane w badaniu neuropsychologicznym przeprowadzanym wedle paradygmatu kliniczno-eksperymentalnego. Do badania uwagi powszechnie używane są m.in.: próba uczenia się 10 słów, próba korekty, test uwagi i spostrzegawczości, kolorowy test połączeń, test łączenia punktów czy test D2 do badania uwagi [1]. Są to jednak metody wykorzystywane do potwierdzenia diagnozy związanej z problemem koncentracji uwagi. Do badania poziomu zaangażowania uwagi stosuje się jednak metody psychologiczno-fizjologiczne. Metody te pozwalają również na oszacowanie poziomu zaangażowania uwagi (czyli poziomu jej koncentracji, skupienia). Jedną z metod, która zdaje się dawać najbardziej obiektywne wyniki jest obrazowanie struktury i funkcji mózgu (tzw. neuroobrazowanie) przy użyciu badania elektroencefalograficznego. Elektroencefalografia EEG (ang. electroencephalography) jest badaniem, którego celem jest rejestracja elektrycznej aktywności mózgu. Większość tych sygnałów pochodzi z neuronów. Występuje tutaj wiele zjawisk bioelektrycznych takich jak: potencjały czynnościowe (krótkotrwałe przepływy prądu w aksonie), potencjały postsynaptyczne (są one dłuższe od potencjałów czynnościowych) oraz większe pole elektryczne. Zachodzi również zjawisko depolaryzacji, czyli potencjał ujemny elektryczny zmniejsza się wewnątrz neuronu) [2]. Urządzenie, za pomocą którego dokonuje się takiej rejestracji, nazywane jest elektroencefalografem. Pomiar jest uzyskiwany za pomocą elektrod, które są umieszczone na powierzchni głowy człowieka badanego [3]. Wyniki badań ukazywane są w postaci wykresu - elektroencefalogramu. Celem badań była analiza zmienności poziomu zaangażowania mentalnego u pracowników wykonujących pracę umysłową. Zakres pracy obejmował badanie poziomu sygnałów EEG w 5 pracowników, podczas wykonywania różnych czynności biurowych oraz analizę otrzymanych wyników. 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. Do tego celu wykorzystano bezprzewodowy neurohełm EMOTIV EPOC FLEX (rys.1). 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 z klientami, przygotowanie dokumentacji firmowej, wystawianie faktur za transport, obsługa programów komputerowych. Czas pomiaru wynosił 45 min dla każdej z badanych osób.



**Rys. 1.** Zestaw EMOTIV EPOC FLEX wykorzystany do pomiaru aktywności kory mózgowej

Emotiv EPOC Flex pozyskuje i przetwarza w wysokiej rozdzielczości neurosygnały. Wykorzystuje zestaw czujników, które dostosowują się do sygnałów elektrycznych wytwarzanych przez mózg. Dzięki czemu możliwe jest wykrycie sygnałów koniecznych do identyfikacji uczuć, myśli oraz stanów emocjonalnych. Dzięki przełącznikowi USB urządzenie bezprzewodowo łączy się z komputerem. Oprogramowanie, które jest dołączone do urządzenia umożliwia obserwację sygnałów z elektrod w czasie rzeczywistym.



**Rys. 2.** Interfejs obrazujący wynik badania EEG przeprowadzonego przy użyciu Emotiv EPOC FLEX

Jak wskazują dane literaturowe, w danym stanie psychicznym w mózgu może dominować jeden rodzaj fali, przy obniżonym poziomie aktywności pozostałych fal. Na przykład u osoby, która jest w fazie pobudzenia umysłu zaobserwujemy zwiększoną aktywność fal mózgowych w paśmie częstotliwości beta przy jednoczesnych występowaniu na poziomie śladowym fal alfa, theta i gamma.

Analiza wyników pomiarów polegała na obserwacji zaangażowania fal o różnych częstotliwościach, szczególnie fal beta, odpowiedzialnych za gotowość do podjęcia wysiłku umysłowego i odnotowaniu zmienności poziomu tego zaangażowania. Częstotliwości tych fal (szczególnie ich niskie wartości), mieszczące się w zakresie 12-38 Hz, charakteryzują aktywność mózgu podczas percepcji zmysłowej i pracy umysłowej [4]. Zakres tej częstotliwości wzrasta podczas logicznego myślenia, gdy uwaga skierowana jest na zadania poznawcze i świat zewnętrzny. Wyniki badania EEG skorelowano z rodzajem wykonywanych czynności

#### Literatura

- [1] Matracki 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] 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;
- [4] Górecka I. 2019. Mózg i tajemnice jego aktywności elektrycznej. Jak za pomocą treningu fal mózgowych rozwinąć jego ukryte zdolności? Psychologia w Praktyce, Nr 17.

## SYSTEMY WIZYJNE AUTOMATU DO PRZEDSIĘWNEGO PRZYGOTOWANIA ŻOŁĘDZI

**Paweł TYLEK**

Uniwersytet Rolniczy im. H. Kołłątaja w Krakowie, Wydział Leśny,  
Katedra Użytkowania Lasu, Inżynierii i Techniki Leśnej

Jednym z zabiegów przygotowujących nasiona dębów do siewu jest skaryfikacja mechaniczna, polegająca na odcięciu od strony znamienia żołądza ich końców wraz z liścieniami (ok. 25% długości). Przyspiesza to wzrost zarodka oraz wyrównuje wschody, a wartością dodaną zabiegu jest możliwość analizy zmian mumifikacyjnych żołądza, które są określane wzrokowo. Obecnie wysiewa się w Polsce w kontenerach szkółkarskich ok. 6 mln sztuk żołądza rocznie. Oznacza to, że liczba skaryfikowanych nasion musi być znacząco większa, ponieważ nie wszystkie nasiona są przydatne do wysiewu. Znaczna część, niekiedy nawet ponad 50%, może być uszkodzona przez owady, gryzonie lub zмумifikowana. Z uwagi na wysoką pracołłonność zabiegu jest on stosowany przede wszystkim w hodowli sadzonek w szkółkach kontenerowych. W tym przypadku do każdej celi kasety należy wysiać jednego żołądza, który poddany wcześniejszym zabiegom sortowania będzie źródłem sadzonki o oczekiwanych cechach morfologicznych (Adamczyk i in. 2018).

Dotychczas skaryfikacja prowadzona jest ręcznie z wykorzystaniem sekatora. Jest o żmudna i monotonna praca, wymagająca zatrudnienia od kilku do kilkunastu osób w każdej szkółce produkującej sadzonki. Z związku z powyższymi opracowano model autonomicznego skaryfikatora, który dokonuje precyzyjnego obcięcia żołądza oraz sortuje je na podstawie innowacyjnej, optycznej cechy rozdzielczej (Tadeusiewicz i in. 2017). Automat powstał w wyniku prac badawczo-rozwojowych prowadzonych przez konsorcjum, a jego uczestnikami były następujące instytucje naukowe i przedsiębiorstwa: (1) Uniwersytet Rolniczy w Krakowie (pełniący rolę Lidera Konsorcjum), (2) Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, (3) Sieć Badawcza Łukasiewicz – Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych w Poznaniu, (4) Przedsiębiorstwo Wielobranżowe „PROMAR” z Poznania. Badania finansowano z grantu PBS3/A8/34/2015, przyznanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu PBS pt. „Funkcjonalny model automatu z systemem wizyjnym do skaryfikacji oraz oceny żywotności żołądza na podstawie automatycznego rozpoznawania topografii zmian mumifikacyjnych”. Na omawiany automat do skaryfikacji uzyskano patent krajowy (Patent nr 228904) oraz międzynarodowy (European patent 3172954).

Urządzenie zostało wyposażone w dwa systemy optyczne (Bubliński i in. 2017). Zadaniem pierwszego jest sprawdzenie orientacji, która wynika z losowego podawania żołądza przez podajnik wibracyjny. Wyspecjalizowany system wizyjny z zaimplementowanym algorytmem rozpoznania orientacji nasion, wykorzystujący detektor Harrisa, sprawdza ich ułożenie (Pawlik i in. 2017). Nasiona zorientowane niepoprawnie są obracane przez pozycjoner. System ma jeszcze dodatkową, ważną funkcję, którą jest pomiar długości żołądza. Informacja ta jest później wykorzystywana do określenia miejsca przecięcia żołądza, aby zapewnić tę samą intensywność skaryfikacji, niezależnie od wielkości żołądza.

Drugi system optyczny odpowiada za kontrolowanie zdrowotności. Proces ten polega na identyfikacji względnej wielkości zmian mumifikacyjnych metodami wizji komputerowej (Bubliński i in. 2017, Jabłoński i in. 2016). Metody komputerowe oparte na uczeniu maszynowym są równie dokładne jak ocena organoleptyczna dokonana przez pracowników szkółki, ale jednocześnie zdecydowanie szybsze. Procedura uczenia maszynowego jest czasochłonna, ale jest wykonywana jednorazowo na podstawie wybranych próbek przekrojów żołądza poprawnie sklasyfikowanych przez ludzi. Natomiast po nauczaniu



algorytmu każdorazowe wykonanie zadania rozpoznania i interpretacji obrazu przekrojów nowych żołądźi zajmuje średnio 68 ms (Przybyło, Jabłoński 2019).

## BIBLIOGRAFIA

- Adamczyk F., Frąckowiak P., Jabłoński M., Juliszewski T., Kiełbasa P., Piłat A., Szaroleta M., Szczepaniak J., Tadeusiewicz R., Tylek P., Walczyk J. 2018. Automat do skaryfikacji żołądźi wraz z identyfikacją zmian chorobowych. Przemysłowy Instytut Maszyn Rolniczych, Poznań.
- Bubliński Z., Grabska-Chrzastowska J., Jabłoński M., Kwiecień J., Mikrut Z., Pawlik P., Przybyło J., Tadeusiewicz R., Tylek P., Walczyk J. 2017. Ocena zdrowotności automatycznie skaryfikowanych żołądźi za pomocą komputerowej analizy obrazów. Akademicka Oficyna Wydawnicza EXIT, Warszawa.
- Jabłoński M., Tylek P., Walczyk J., Tadeusiewicz R., Piłat A. 2016. Colour-Based Binary Discrimination of Scarified *Quercus robur* Acorns under Varying Illumination. *Sensors*, 16(8), 1319.
- Pawlik P., Jabłoński M., Bubliński Z., Tadeusiewicz R., Walczyk J., Tylek P., Juliszewski T., Adamczyk F. 2017. Use of Harris detector for determination of orientation of acorns in the process of automated scarification. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 62(1), 163–165.
- Przybyło J., Jabłoński M. 2019. Using Deep Convolutional Neural Network for oak acorn viability recognition based on color images of their sections. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156, 490–499.
- Tadeusiewicz R., Tylek P., Adamczyk F., Kiełbasa P., Jabłoński M., Pawlik P., Piłat A., Walczyk J., Szczepaniak J., Juliszewski T., Szaroleta M. 2017. Automation of the Acorn Scarification Process as a Contribution to Sustainable Forest Management. Case Study: Common Oak. *Sustainability*, 9, 2276.

# ANALYTICAL MODELLING OF HYBRID PHOTOVOLTAIC THERMAL SYSTEM

**Bojan VOVČKO, Aleš ŠTRICELJ**

Thermal power plant Brestanica, Krško, Slovenia

**Klemen SREDENŠEK**

Faculty of Energy Technology, University of Maribor, Krško, Slovenia

**Bojan ŠTUMBERGER, Miralem HADŽISELIMOVIĆ, Sebastijan SEME**

Faculty of Energy Technology

Faculty of Electrical Engineering

and Computer Science University of Maribor, Krško, Slovenia

## Introduction

A photovoltaic (PV) module converts the energy of light (solar energy) directly into electricity by the photovoltaic effect, whereby only a minor part of the solar energy is converted into electricity. A major part of the solar energy is converted into thermal energy, which results in an increase in the temperature of the PV module. Due to the negative temperature coefficient of the PV module, the electrical efficiency decreases with increasing temperature. Electrical efficiency can be increased by cooling the PV module, which is usually achieved by exposing the surface of the PV module to a cooling media (usually water or air), which absorbs the waste heat of the PV module via heat exchanger, and thus decreasing the temperature of the PV module. The obtained waste heat can be used in low-temperature heating systems. Generally cooling techniques are divided into active and passive cooling techniques [1,2]. Active cooling techniques are based on systems for heat extraction utilizing active devices (pumps, fans, etc.) which needs to be powered by electricity. However, the passive cooling techniques refer to systems for heat extraction without additional power consumption and are based only on methods utilizing laws of thermodynamics (natural convection, thermosiphon effect, chimney effect, etc.). The integrated cooling system can increase the electrical efficiency up to 20% [3,4]. Grubišić et al. [2] analyzed and compared different cooling techniques and concluded that the most effective technique that produce additional power is active water cooling system. The PV module in combination with cooling system is called hybrid photovoltaic thermal collector/module (PVT). Active hybrid PVT collectors/modules are most commonly divided on concentrated [5-7] and flat-plate PVT modules. Flat-plate PVT modules/collectors can also be divided based on the cooling media, with water [8-12] and air [13-15] being the most commonly used media. This paper deals with analysis of the PVT collector, that will be installed on existing small photovoltaic system (81.78 kWp) in Brestanica, Slovenia.

## Methodology

The most important electrical performance parameters of the PVT module are undoubtedly electrical efficiency and power. The electrical efficiency of the PV module  $\eta_{el}$ , which is a function of module temperature, is defined by (1).

$$\eta_{el} = \eta_r (1 - \gamma (T_m - T_r)) \quad (1)$$

Where  $\eta_r$  is the reference efficiency of the PV module,  $\gamma$  is the temperature coefficient,  $T_m$  is the temperature of the PV module and  $T_r$  is the reference temperature. Electrical power of the PVT module  $P_{el}$  is given by (2):

$$P_{el} = \frac{\eta_{el} G A_c}{100} \quad (2)$$

Where  $G$  is the intensity of solar radiation and  $A_c$  is the area of the PVT module.

### Results

The analysis of the PV module and PVT collector was estimated for one particular sunny day of the year for electrical power  $P_{el}$ , electrical efficiency  $\eta_{el}$  and temperature of the PV module  $T_m$  (see Fig. 1 and 2).

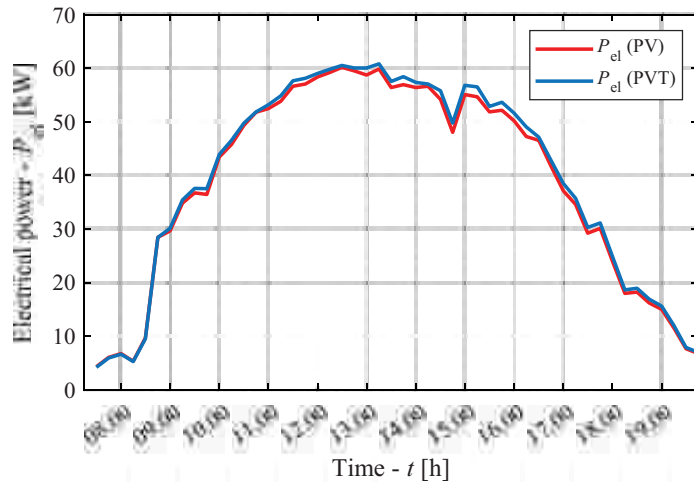


Fig. 1: Electrical power of the PV and PVT system  $P_{el}$

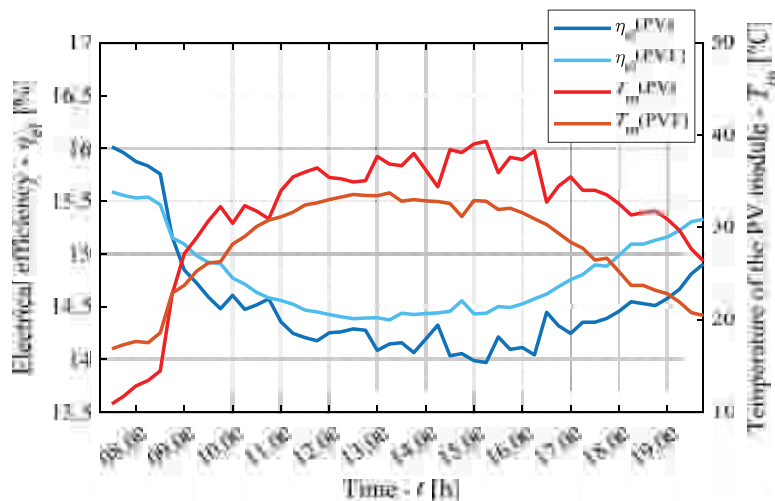


Fig. 2: Electrical efficiency  $\eta_{el}$  and temperature of the PV module  $T_m$

Fig. 1 shows that the electrical power of the cooled PVT module increased by 4% with the inlet water temperature in the sheet-and-tube collector being 17,5 °C. Fig. 2 shows that the electricity produced decreases with increasing temperature of the PV / PVT module. The cooling of PV / PVT modules is more efficient in the afternoon hours, when the ambient temperatures are much higher compared to the noon hours at the same intensity of solar radiation.

### Conclusion

The main objective of this paper is to present the results of the analysis of PVT module. The results show that using the water cooled PVT modules, the temperature of the PV module is reduced, which consequently increases the efficiency and energy consumption by 4%. Analytical modelling of the presented water cooled PVT system and additional results of thermal performance PVT module will be presented in full paper.

## REFERENCES

- Y. S. Bijjargi, S.S. Kale, K.A. Shaikh, Cooling Techniques for Photovoltaic Module for Improving its Conversion Efficiency: A Review, *IJMET*, Vol. 7(4), pp. 22-28, 2016.
- Č. F. Grubišić, S. Nižetić, M. T. Giuseppe, Photovoltaic panels: a review of the cooling techniques, *TRANSACTIONS OF FAMENA XL – Special issue 1*, Vol. 40, p.p. 63-74, 2016.
- V. N. Palaskar, S. P. Deshmukh, A.B. Pandit, Heat Transfer Analysis and Waste Heat Recovery of Specially Designed Heat Exchanger used in Hybrid Solar Water System, *International journal of renewable energy research*, Vol. 4(1), 2014.
- A. A. Alzaabi, N. K. Badawiyeh, H.O. Hantoush, A. K. Hamid, Electrical/thermal performance of hybrid PV/T system in Sharjah, UAE, *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, vol. 3(4), 2014.
- S. M. Sultan, M. N. E. Efsan: Review on recent Photovoltaic/Thermal (PV/T) technology advances and applications, *Solar Energy*, Vol. 173, p.p. 939 – 954, 2018.
- A. H. Jaaz, H. A. Hasan, K. Sopian, A. A. H. Kadhum, T. S. Gaaz, A. A. Al-Amiery: Outdoor Performance Analysis of a Photovoltaic Thermal (PVT) Collector with Jet Impingement and Compound Parabolic Concentrator (CPC), *Materials*, Vol. 10, p.p. 1 – 16, 2017.
- B. S. S. Singh, C. H. Yen, S. H. Zaidi, K. Sopian: Part II: Enhanced Performance of Concentrating Photovoltaic-Thermal Air Collector with Fresnel Lens and Compound Parabolic Concentrator (CPC), *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, Vol. 47(1), p.p. 16-24, 2018.
- F. Abdulameer, M. A. M. Rosli, N. Tamaldin, S. Misha, A. L. Abdullah: Modelling, Validation and Analyzing Performance of Serpentine-Direct PV/T Solar Collector Design, *CFD Letters*, Vol. 11, Iss. 2, p.p. 50 – 65, 2019.
- G. Evola, L. Marletta: Exergy and thermoeconomic optimization of a water-cooled glazed hybrid photovoltaic/thermal (PVT) collector, *Solar Energy*, Vol. 107, p.p. 12 – 25, 2014.
- R. Nowzari: Numerical Analysis of a Photovoltaic Module Integrated with Various Water Cooling Systems, *Transactions of FAMENA*, Vol. 43, p.p. 19 – 30, 2019.
- W. Panga, Y. Cuib, Q. Zhanga, H. Yua, L. Zhanga, H. Yana: Experimental effect of high mass flow rate and volume cooling on performance of a water-type PV/T collector, *Solar Energy*, Vol. 188, p.p. 1360 – 1368, 2019.
- Y. Huo, J. Lv, X. Li, L. Fang, X. Ma, Q. Shi: Experimental study on the tube plate PV/T system with iron filings filled, *Solar Energy*, Vol. 185, p.p. 189 – 198, 2019.
- P. Zhang, X. Rong, X. Yang, D. Zhang: Design and performance simulation of a novel hybrid PV/T-air dual source heat pump system based on a three-fluid heat exchanger, *Solar Energy*, Vol. 191, p.p. 505 – 517, 2019.
- H. Sayin, R. Nowzari, N. Mirzaei, L. B. Y. Aldabbagh: Performance evaluation of a modified PV/T solar collector: A case study in design and analysis of experiment, *Solar Energy*, Vol. 141, p.p. 210 – 221, 2017.
- M. Y. Othman, F. Hussain, K. Sopian, B. Yatim, H. Ruslan: Performance Study of Air-based Photovoltaic-thermal (PV/T) Collector with Different Designs of Heat Exchanger, *Sains Malaysiana*, Vol. 42, Iss. 9, p.p. 1319 – 1325, 2013.

# AUTOMATYCZNA SELEKCJA ELEKTROD W PROCESIE KLASYFIKACJI EMOCJI NA PODSTAWIE SYGNAŁÓW EEG

Agnieszka WOSIAK<sup>1</sup>, Liliana BYCZKOWSKA-LIPIŃSKA<sup>2</sup>, Aleksandra DURA

<sup>1</sup> Politechnika Łódzka, Instytut Informatyki

<sup>2</sup> Wyższa Szkoła Informatyki i Umiejętności w Łodzi

Rozwój bioinformatyki w zakresie analizy sygnałów EEG zwiększa potencjał diagnostyczny związany z poprawą zaburzeń snu oraz z wykrywaniem wybranych chorób, które mają podłoże w układzie nerwowym. Do nich należą epilepsja lub depresja. Ponadto w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie budzi zastosowanie encefalografii do zwiększania interakcji na podłożu człowiek-komputer (HCI, ang. Human-Computer Interaction) i rozwijania interfejsów typu mózg-komputer (BCI, ang. Brain-Computer Interaction). Jednym z kluczowych obszarów dla obecnie podejmowanych badań z zakresu analizy sygnałów EEG jest rozpoznawanie emocji [1, 2].

Emocje odgrywają ważną rolę w codziennym życiu i komunikacji międzyludzkiej. Pozytywne emocje wpływają na poprawę stanu zdrowia, zaś negatywne emocje mogą przyczyniać się do pogłębienia problemów zdrowotnych. Badania z zakresu neurobiologii i psychologii potwierdzają, że emocje stanowią istotny aspekt wpływający na racjonalność zachowania. Pacjenci z zaburzeniami emocjonalnymi mają trudności w wykonywaniu codziennych czynności. Emocje rozpoznaje się na podstawie sygnałów werbalnych (słownictwo emocjonalne) lub niewerbalnych, takich jak gesty, wyrażenia czy intonacja. Jednym ze sposobów identyfikacji stanu emocjonalnego są również sygnały EEG [3, 4].

Badanie EEG polega na rozmieszczeniu na powierzchni głowy elektrod pomiarowych i analizie zapisu potencjałów pochodzących z synchronicznej pracy grup neuronów z kory mózgowej. Analiza takiego zapisu jest możliwa jedynie dzięki odpowiedniej lokalizacji elektrod pomiarowych i wzmacnianiu mierzonego sygnału. Jednak pozyskanie informacji z sygnału EEG jest trudnym zadaniem z uwagi na zaszumienia wynikające z jednej strony z artefaktów wewnętrznych (fizjologicznych) i zewnętrznych (związanych ze sprzętem), a z drugiej strony będących konsekwencją nakładania się sygnałów pochodzących z różnych elektrod. Poprawę jakości sygnału można zatem uzyskać poprzez eliminowanie artefaktów [7] lub przez odpowiedni dobór cech, które należy uwzględnić w procesie dalszej analizy. Automatyczna selekcja cech pochodzących z sygnałów EEG stanowi istotny obszar badań.

W ramach podejmowanych prac badawczych można wyróżnić dwa podejścia:

- optymalny dobór elektrod [8],
- optymalny wybór cech [9].

Można stwierdzić, że optymalny dobór elektrod pomiarowych stanowi pierwszy i kluczowy etap prac związanych z automatyczną selekcją cech pozyskanych z sygnałów EEG. Jednak z uwagi na złożoność problemu oraz konieczność dostosowania badań do problemu klasyfikacyjnego, dotychczas podejmowane próby nie wskazały jednoznacznie liczby i pozycji elektrod najlepiej dopasowanych do zadań związanych z klasyfikacją emocji. Przykładowo, praca [10] sugeruje użycie 9 elektrod, zaś w pracy [8] zaproponowano użycie od 3 do 8 elektrod w zależności od eksperymentu. Dodatkowe utrudnienie stanowi fakt, że we wskazanych pracach mniejsze zestawy elektrod nie stanowią podzbiorów zestawów większych.

Celem opisanych w ramach niniejszej pracy badań jest wskazanie zestawu elektrod kluczowych do klasyfikacji stanu emocjonalnego na podstawie sygnału EEG jako kontynuacji badań nad optymalnym doбором elektrod.

Badania eksperymentalne zostały przeprowadzone na referencyjnym zbiorze DEAP, który stanowi podstawowe źródło danych w badaniach z zakresu klasyfikacji emocji. Dane pochodzą z 32 elektrod nałożonych na powierzchnię czaszki oraz 13 elektrod fizjologicznych umieszczonych na palcach oraz twarzy osoby badanej [1]. Ocenie poddane zostały 4 klasy stanów psychofizycznych (*valence* – odczucie pozytywne/negatywne, *arousal* – pobudzenie, *dominance* – dominacja, *liking* – upodobanie). Automatyczna selekcja elektrod została przeprowadzona z zastosowaniem różnych algorytmów:

- selekcja cech uwzględniająca ich korelację: algorytmy *CFS* (Correlation-Based Feature Selection) oraz *CorrelationAttribute*,
- selekcja cech uwzględniająca zysk informacji *InfoGain*,
- selekcja cech uwzględniająca współczynnik wzmocnienia: *GainRatio*,
- selekcja na bazie reguł One-R (algorytm *OneRAttribute*),
- algorytm ReliefF (dla  $k = 10$  najbliższych sąsiadów oraz  $k = 5$  najbliższych sąsiadów),
- rekurencyjna eliminacja cech.

Jako metoda klasyfikacji przyjęta została maszyna wektorów nośnych SVM (ang. Support Vector Machines).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że największe znaczenie przy klasyfikacji emocji mają kanały 33-40, które pobierają wartości z elektrod fizjologicznych. W przypadku elektrod EEG, metody selekcji wskazały od 2 do 8 elektrod w zależności od rodzaju emocji. Jednocześnie proces klasyfikacji poprawił się o 4-10%.

Dalsze prace dotyczą opracowania hybrydowego algorytmu automatycznej selekcji, który pozwoliłby na jeszcze bardziej precyzyjne wskazanie liczby i pozycji rozmieszczenia elektrod EEG.

## Literatura

- [1] S. Koelstra, J. Lee, A. Yazdani, T. Ebrahimi, T. Pun, A. Nijholt, et al., DEAP : A Database for Emotion Analysis using Physiological Signals. 2012.
- [2] L. Shu, J. Xie, M. Yang, Z. Li, D. Liao, et al., A Review of Emotion Recognition Using Physiological Signals. *Sensors*. 2018.
- [3] P. Petrantonakis, L. Hadjileontiadis, Emotion Recognition from EEG Using Higher Order Crossings. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*. 2010; 14(2).
- [4] Annisa' Hilmi Masrurah, Elly Matul Imah, Endah Rahmawati: Classification of Emotional State Based on EEG Signal using AMGLVQ, *Procedia Computer Science*, Vol. 157, 2019, pp. 552-559, DOI: 10.1016/j.procs.2019.09.013.
- [5] K. Tripathi. Important Physiological Signals in the Body. *Biomedical Engineering*. 2011.
- [6] J. Minguillon, M. Lopez-Gordo, F. Pelayo. Biomedical Signal Processing and Control Trends in EEG-BCI for daily-life: Requirements for artifact removal. *Biomedical Signal Processing and Control*. 2017.
- [7] C. Maswanganyi, Ch. Tu, P. Owolawi, S. Du: Overview of Artifacts Detection and Elimination Methods for BCI Using EEG, 3rd IEEE International Conference on Image, Vision and Computing, 2018.
- [8] R. Lahiri, P. Rakshit, A. Konar, Evolutionary perspective for optimal selection of EEG electrodes and features, *Biomedical Signal Processing and Control* 36 (2017) 113–137 Contents
- [9] S. Datta, P. Rakshit, A. Konar, A.K. Nagar, Selecting the optimal EEG electrode positions for a cognitive task using an artificial bee colony with adaptive scale factor optimization algorithm, *IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2014 (2014) 2748–2755.
- [10] B. Nakisa, M. N. Rastgoo, D. Tjondronegoro, V. Chandran. Evolutionary computation algorithms for feature selection of EEG-based emotion recognition using mobile sensors, *Expert Systems with Applications*, 93(2018), pp. 143–155.

# MAPPING BODY SURFACE POTENTIAL BY MEASURING BIOLOGICAL SIGNALS

Dariusz WÓJCIK<sup>1</sup>, Michał OLESZEK<sup>1</sup>, Michał WOŚ<sup>1</sup>,  
Elżbieta WOŚKO<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

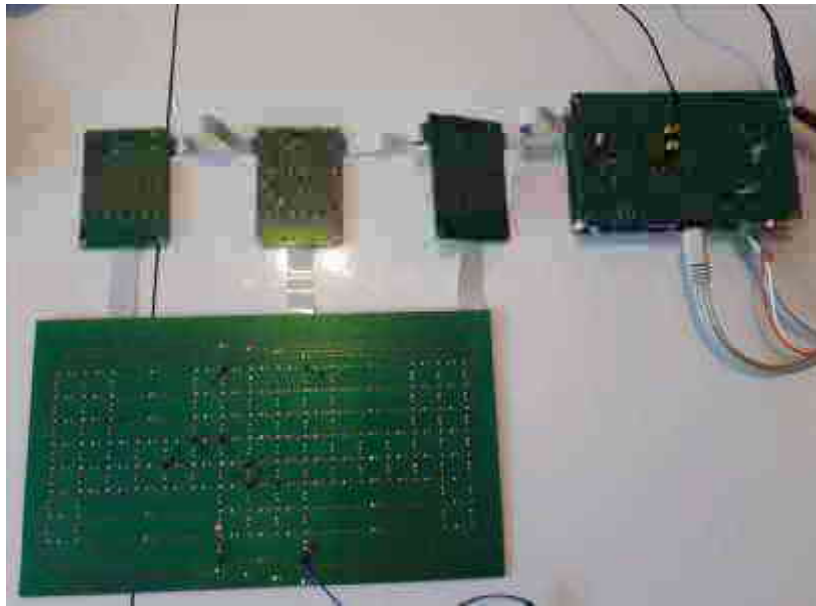
## Introduction

Currently the electrocardiogram (ECG) is the most commonly used technique to measure heart activity. It can also be used to continuously measure heart with the use of a Holter device. Although the analysis of ECG is an easy task for a specialist or artificial intelligence, it does not give a detailed information about the heart activity. The body surface potential mapping (BSPM) is a technique where a large set electrodes are measuring the potential on the human body. With such a measurement it is possible to track the flow of electric signal in the human heart which give a detailed information for the physician. Here we present a smart BSPM device that uses a vest with dry electrodes. The use of high resolution components allows us to obtain high accuracy of measured bio-signals, while the use of dry electrodes allows the construction of a portable smart vest that can be equipped like a Holter device. The developed algorithms allows us to dismiss the faulty measurements and make the whole system robust.

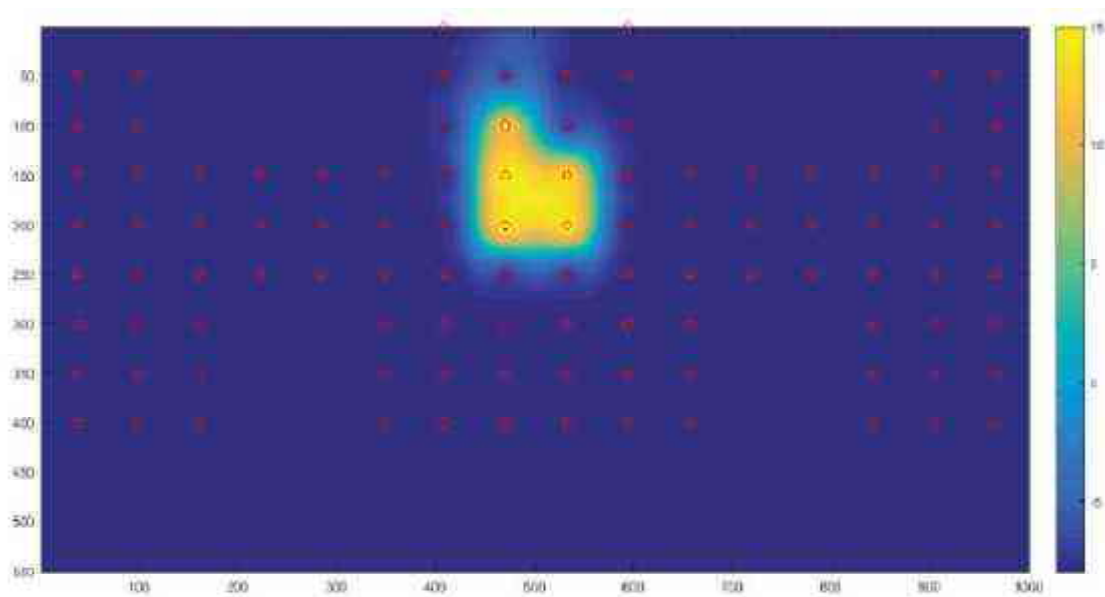
## Hardware

The aim of the research was to design a system for measuring BSPM with ability to measure classical 12 lead ECG. Due to the specificity of the measured signal (low signal-to-noise ratio, low signal amplitude) it was necessary to design and develop a series of filtration systems in order to make the obtained measurements reliable. Because of the relatively low frequency of the measured signals and a large number of measurement channels, there is no need to sample 1ksps per channel. The system was designed using analog multiplexers coupled with a set of filters and amplifiers forming the signal to the values useful for measurement. The signal formed in this way is then filtered out again after leaving the multiplexer block by means of an additional 50Hz central barrier filter and a summing system using Wilson's resultant signal as a reference. The signal is then transferred to ADCs, where the final filtration process takes place with an FFT filter. The measurement process takes place cyclically on all of the 102 measured channels, thus achieving an effective signal sampling rate of 1ksps (kilo samples per second). The data measured this way is then transmitted via Ethernet using TCPIP, HTTP to database system.

We have developed a complete system for the BSPM measurements. It has a ability for high speed (1ksps) measurements with fault detection. The data obtained with BSPM is used for the analysis of the potential distribution inside human body. We have shown that a results calculated using the BSPM matches the one obtained with the 12 channel ECG and that our device is capable of active monitoring of the patients. The obtained resolution is satisfactory and the developed smart system is capable of transferring data over the internet to the database. There the data is processed, filtered and reconstruction in order to obtain a high resolution potential distributions. Additionally we are going to further cooperate with medical personnel in order to build an expert system which will help in the early diagnosis of the cardiac disorders.



**Fig. 1:** A test bench of a full system. The boards shown in this Figure are in development stage and does not show the final product



**Fig. 2:** The visualization of measurement from the wearable BSPM device. Red circles represents an electrode. The Heat-map shows the amplitude of the signal

### References

- [1] Akay, M. (Ed.), 2006. Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering. John Wiley & Sons, Inc..
- [2] De Ambroggi, L., Dan Corlan, A., 2007. Clinical use of body surface potential mapping in cardiac arrhythmias. *Anatol J Cardiol* 7, 8-10.
- [3] Fye, W., 1994. A history of the origin, evolution, and impact of electrocardiography. *The American Journal of Cardiology* 73, 937-949.
- [3] Giffard-Roisin, S., Jackson, T., Fovargue, L., Lee, J., Delingette, H., Razavi, R., Ayache, N., Sermesant, M., 2017. Noninvasive personalization of a cardiac electrophysiology model from body surface potential mapping. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 64, 2206-2218.



- [4] Guillem, M.S., Climent, A.M., Millet, J., Arenal, A., Fernandez-Aviles, F., Jalife, J., Atienza, F., Berenfeld, O., 2013. Noninvasive localization of maximal frequency sites of atrialfibrillation by body surface potential mapping. *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology* 6, 294-301.
- [5] Isakadze, N., Martin, S.S., 2019. How useful is the smartwatch ECG? *Trends in Cardiovascular Medicine*.
- [6] IWA, T., MAGARA, T., 1981. Correlation between localization of accessory conduction pathway and body surface maps in the wolff parkinson-white syndrome. *Japanese Circulation Journal* 45, 1192-1198.
- [7] Rymarczyk, T., Stanikowski, A., Nita, P., 2019. Wearable sensor array for biopotential measurements, in: *2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*.
- [8] Wehr, G., Peters, R.J., Khalif e, K., Banning, A.P., Kuehlkamp, V., Rickards, A.F., Sechtem, U., 2006. A vector-based, 5-electrode, 12-lead monitoring ECG (EASI) is equivalent to conventional 12-lead ECG for diagnosis of acute coronary syndromes. *Journal of Electrocardiology* 39, 22-28.

# A COMPLETE SYSTEM FOR AN AUTOMATED ECGDIAGNOSIS

Dariusz WÓJCIK<sup>1</sup>, Michał WOŚ<sup>1</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>3</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Research and Development Center, Netrix S.A., Lublin

<sup>2</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

<sup>3</sup>Lublin University of Technology, Lublin

## Introduction

According to the world health organization statistics, myocardial disorders is responsible for 31% of world deaths. As a consequence of that the research centers specialized in medical data processing are trying to create systems for the analysis of ECG signals. The idea of these type of systems is to automatically detect possible threats in ECG and notify the appropriate medical units. In the paper we present a complete system for measuring and analysis of ECG signal. It consist of our own measuring hardware and an AI based diagnosis system that is able to detect life-threatening heart disorders. With the use of artificial intelligence methods, we can find and assign the appropriate ECG fragment to a given heart disorder. Additionally, the system has ability to automatically detect and mark an unknown data segments in ECG. This kind of system for analyzing ECG signals allows for faster diagnosis and thus increase the chance for appropriate treatment of the patient.

## Methods

To properly teach a neural network we needed the right amount of data. To obtain it, an innovative ECG measuring device was used. As a heart of the ECG measuring system, we used a chip manufactured by Texas Instruments with catalogue note ADS1298. To generate data we used the ECG simulator from FLUKE model ProSim 4, which has 10 leads. The simulator has the ability to simulate arterial pressure in the range of 0 mmHg, 80 mmHg, 160 mmHg and 250 mmHg. The combination of the FLUKE ProSim4 device together with our ECG system was used to collect as close to real life ECG data s possible which is essential to be able to properly train neural network.

The neural network used consisted of 7 layers. The final configuration was a result of intensive testing of different structures of networks and its structure is described in table 1. In the network we used Long Short Term Memory (LSTM) cells which has proved to be effective in solving a wide range of cognitive learning tasks. Speech and handwriting recognition, and more recently machine translations are the most prevalent in the literature.

**Table 1.** The structure of the sequential neural network used in this work

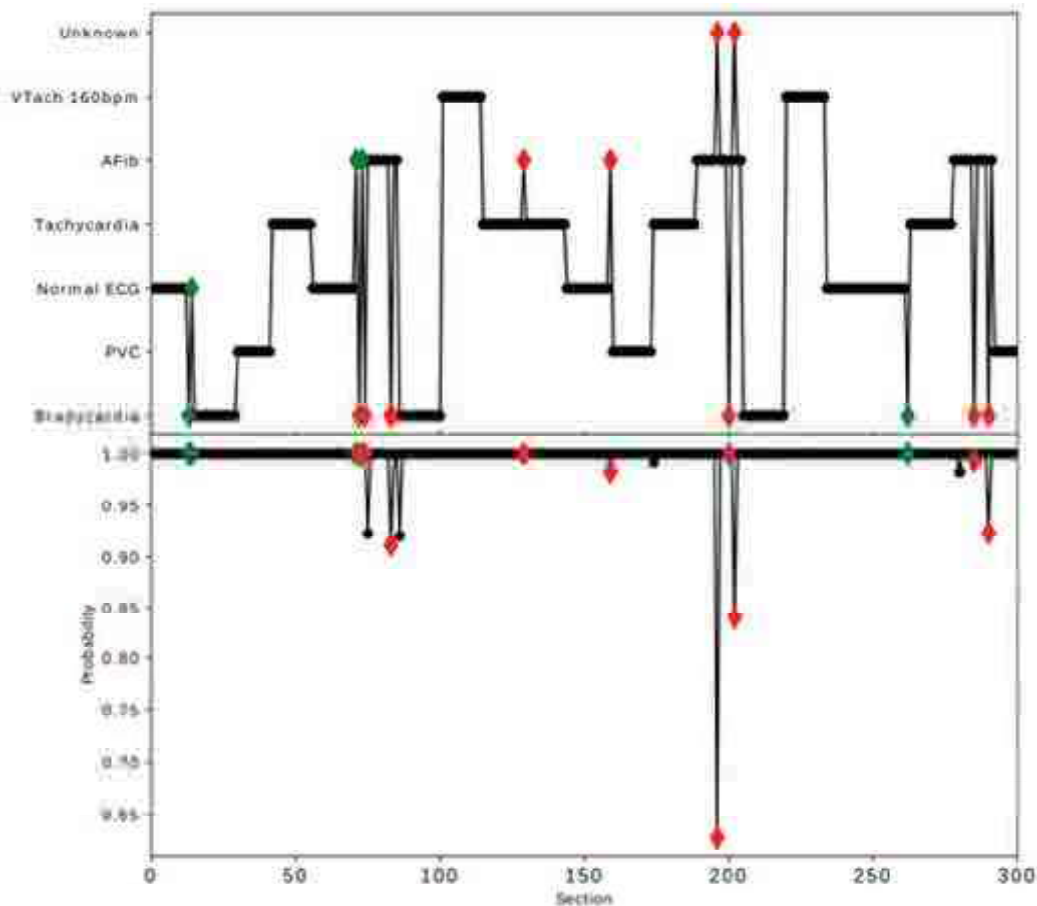
Type	No. of units	Activation function
BILSTM	128	default
BILSTM	256	default
BILSTM	64	default
BILSTM	64	default
Dense	256	tanh
Dense	1024	sigmoid
output	6	softmax

LSTM works extremely well with many different problems, that's why it was used as our solution. While the architecture of our Neural network consist of a multiple LSTM layers, we note, that we are able to

achieve 80% recognition rate with just single layer with 256 units. All the code were written in Python with the use of Tensorflow library and the calculation were performed on the NVIDIA GEFORCE RTX 2060 graphic card.

## Results and discussion

In this work we focused only on the I channel of the ECG data. The following ECG signals were collected by the system: Normal ECG signal at 60 bpm, Atrial fibrillation, Bradycardia at 30 bpm, Tachycardia at 180 bpm, Premature ventricular contraction (PVC), Ventricular tachycardia. The data was remodelled into a training and validation data sets. The datasets consisted of a name of disorder and a 5 second sample of the disease.



**Fig. 1.** Results obtained with the neural network

Figure 1 shows result obtained by the neural network. Each point of the upper plot is the 5 seconds of the test ECG signal. The network failed to classified only 10 out of total of 300 cases which translates to around 96% successful detections.

The vast majority of articles focus their research on external databases such as [asphysio.net](http://physio.net) [1]. In this paper we used data close to real life signal from the ECG simulator. This allowed us to create an extensive learning database for the neural network. We have shown that with the correct structure of NN we were able to achieve a high detection retain the ECG signal.

## References

- [1] Gao J., Zhang H., Lu P., Wang Z.: An Effective LSTM Re-current Network to Detect Arrhythmia on Imbalanced ECG Dataset, 320651, 2019
- [2] Graves A.: Generating Sequences With Recurrent Neural Networks, arXiv:1308.0850, 2014
- [3] Sutskever I., Martens J., Hinton G.: Generating text with recurrent neural networks, ICML'11, 2011

# RELIABILITY OF A CARDIORESPIRATORY MONITORING SYSTEM

Dariusz WÓJCIK<sup>1</sup>, Michał WOŚ<sup>1</sup>, Tomasz RYMARCZYK<sup>1,3</sup>, Grzegorz KŁOSOWSKI<sup>2</sup>,  
Edward KOZŁOWSKI<sup>1,2</sup>, Andres VEJAR<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Research & Development Centre Netrix S.A, Lublin

<sup>2</sup>Lublin University of Technology

<sup>3</sup>University of Economics and Innovation, Lublin

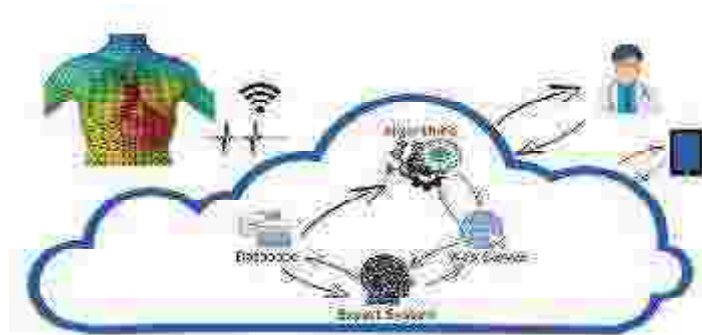
## Introduction

Nowadays, doctors give diagnosis based on their knowledge and experience which sometime can lead to misdiagnosis. Even the most experienced doctors are not prone to diagnostic errors. Diagnosis of the diseases are based on a series of tests. The most popular tests include: blood pressure, heart rate and breathing rate. To minimize the chance of misdiagnosis the need for computerized system has emerged.

Medical systems are developed to help diagnose and treat diseases. The problem is that there are many different types of diseases, each with their own unique characteristics. The part of medical system that helps user to detect diseases is called an expert system which is a combination of artificial intelligence and complex detection algorithms. Expert systems are used in medicine to identify the disease or a condition that is causing the disease. It is composed of many different parts, each with its own set of characteristics and functions. The “brain” of these systems are generally a combination of decision trees and neural networks that are used to classify the diseases.

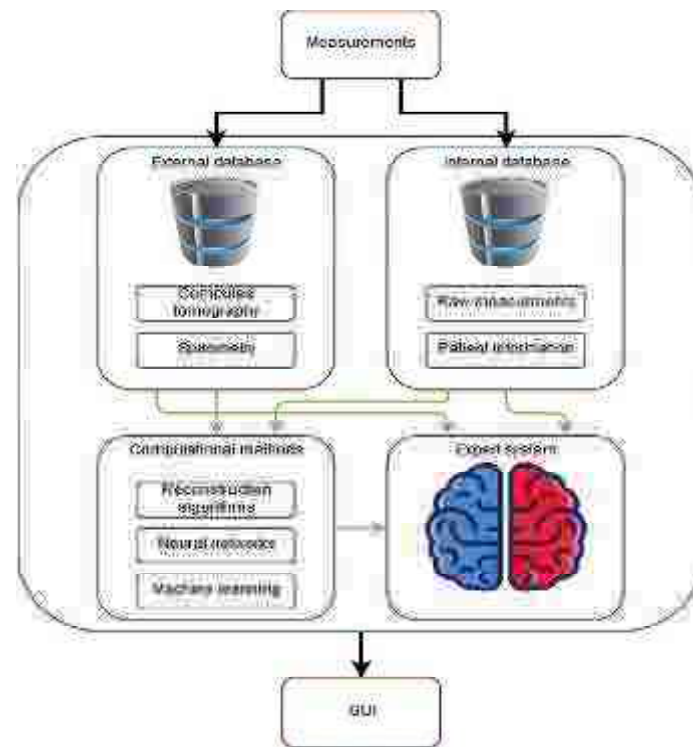
In this paper we present the complete system which monitor and analyze the cardiorespiratory biosignals in order to assist and speed up the diagnosis. We also show what steps has been take in order to make the system robust and reliable.

## The LETS system



**Fig. 1:** The concept of the LETS system.

The Lungs Electrical Tomography System (LETS) is a system that is designed to measure the biosignals of patients and assist experts in the diagnostic of potential cardio respiratory pathologies. It uses customized algorithms and artificial intelligence to propose potential diseases which are based on the patient history and a biomedical data corpus. Our system consist of two parts. One part is the mobile measuring device and the second one is the intelligent cloud framework (Fig. 1).



**Fig. 2:** The concept of the LETS system

The important part of the mobile measuring device is the data acquisition device which consists of a smart clothing in form of a vest that monitor the biosignals. The smart vest performs the electrocardiogram (ECG) measurements through the body surface potential mapping (BSPM). Also it uses a part of the available electrodes to perform the electric impedance tomography to monitor the lungs and heart. The system will be fully automated and with help of the algorithms it will analyze the patient data on the fly (Fig. 2). If the system will detect that the measurement levels can represent a medical risk for the patient, system will engage procedures regarding contacting the patient itself. If this will fail, the system will notify the emergency services.

### Methodology and results

The design of our measurement and disease diagnosis recognition system must account for the two fundamental aspects:

- Parallelism of the measurements.
- Parallelism of the diagnosis.

This concept of the design ensure that the user is provided with the reliable information about the status of the patient.

The parallelism of measurements is achieved by simultaneous measurement of the same type of the information i.e. breathing rate. The parallelism of analysis is achieved with the use of two different method of detecting diseases. First the data is pre-analyzed and then passed to different methods to check whether the obtained results mach. In the analysis of the data we use specialized algorithms that uses statistical methods, neural networks and regresion trees. If there is a mismatch the results can be only analyze by doctor and his input is stored in the database. This way we improve our database.

## Conclusions

In the paper we presented a complete system that uses state of the art software and hardware to measure and reconstruct EIT images and thus can monitor the patient lungs. The device is also equipped with hardware that is able to measure BSPM and monitor the activity of the heart.

## Bibliography

- [1] L. Cash-Gibson, Y. Pappas, and J. Car, “Computer-assisted versus oral-and-written history taking for the management of cardiovascular disease,” *Cochrane Database of Systematic Reviews*, no. 3, 2012.
- [2] S. S. A. Naser and M. M. Hilles, “An expert system for shoulder problems using CLIPS,” 2016.
- [3] GBD 2015 Mortality and Causes of Death Collaborators, “Global, regional, and national life expectancy, all-cause mortality, and cause-specific mortality for 249 causes of death, 1980-2015: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2015,” *Lancet*, vol. 388, no. 10053, pp. 1459–1544, Oct. 2016.
- [4] “The top 10 causes of death.” [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. [Accessed: 21-Oct-2019].
- [5] T. Rymarczyk, P. Nita, A. Vejar, B. Stefaniak, and J. Sikora, “Electrical tomography system for Innovative Imaging and Signal Analysis,” *PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY*, vol. 1, no. 6, pp. 135–138, Jun. 2019.
- [6] T. Rymarczyk, A. Vejar, P. Nita, and P. Tchórzewski, “Advanced tomographic platform for real-time image reconstruction and biomedical signal analysis,” in *2018 International Interdisciplinary PhD Workshop (IIPhDW)*, 2018, pp. 186–190.
- [7] T. Rymarczyk, A. Stanikowski, and P. Nita, “Wearable sensor array for biopotential measurements,” in *2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, 2019, pp. 184–187.
- [8] T. Rymarczyk, P. Nita, A. Vejar, M. Wos, M. Oleszek, and P. Adamkiewicz, “Architecture of a mobile system for the analysis of biomedical signals based on electrical tomography,” in *2018 Applications of Electromagnetics in Modern Techniques and Medicine (PTZE)*, 2018, pp. 236–239.
- [9] T. Rymarczyk, B. Stefaniak, K. Kania, M. Maj, and P. Nita, “Inverse Problem Solution for Model with Lungs and Heart in EIT,” in *2019 Applications of Electromagnetics in Modern Engineering and Medicine (PTZE)*, 2019, pp. 180–183.
- [10] K. Mierzejewski and A. Véjar, “A platform for joint analysis of biosignals ensembles in real-time using FPGA,” *Acta Bio-Optica et Informatica Medica. Inżynieria Biomedyczna*, vol. Vol. 22, no. nr 4, 2016. *XXX Sympozjum Środowiskowe PTZE, 2020*

# MODEL ZŁOŻONEGO PRZEPŁYWU CIEPŁA W PAKIECIE STALOWYCH PROFILI PROSTOKĄTNYCH

Rafał WYCZÓŁKOWSKI<sup>1</sup>, Marek GAŁA<sup>2</sup>, Vazgen BAGDASARYAN<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Politechnika Częstochowska, Wydział Inżynierii Produkcji i Technologii Materiałów

<sup>2</sup>Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

<sup>3</sup>Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

## Abstract

The article presents a model of a complex heat transfer in a steel package of rectangular profiles which uses the thermo-electric analogy. The implementation of this model greatly improves the accuracy of the performance of the automatic control systems. This is related to the selection of the optimal heating curves for each given case in the heat treatment processes. The precise control of the process has the following benefits: reduction of energy consumption, improved production efficiency, reduced emissions of pollution as well as the ability to achieve the desired quality of the final product.

## Wstęp

W praktyce przemysłowej obróbki cieplnej wyrobów stalowych, w wielu sytuacjach zachodzi potrzeba nagrzewaniem wsadu o strukturze porowatej [1]. Jednym z przykładów takiego wsadu są pakiety profili prostokątnych. Zapewnienie prawidłowego przebiegu nagrzewania takiego wsadu, wymaga wiedzy na temat intensywności przepływu ciepła w jego obszarze przy danych warunkach brzegowych. Z uwagi na niejednorodną, dwufazową strukturę (stal - gaz) omawianych pakietów, w ich obszarze występuje bardzo złożony przepływ ciepła, związany z przewodzeniem w obrębie poszczególnych profili, przewodzeniem i konwekcją swobodną gazu w przestrzeniach wewnętrznych profili, przewodzeniem kontaktowym na styku przylegających profili oraz promieniowaniem cieplnym między ich powierzchniami. W sposób ilościowy zjawisko to można wyrazić za pomocą efektywnej przewodności cieplnej, która jest powszechnie wykorzystywaną teorią ośrodków porowatych [2-4].

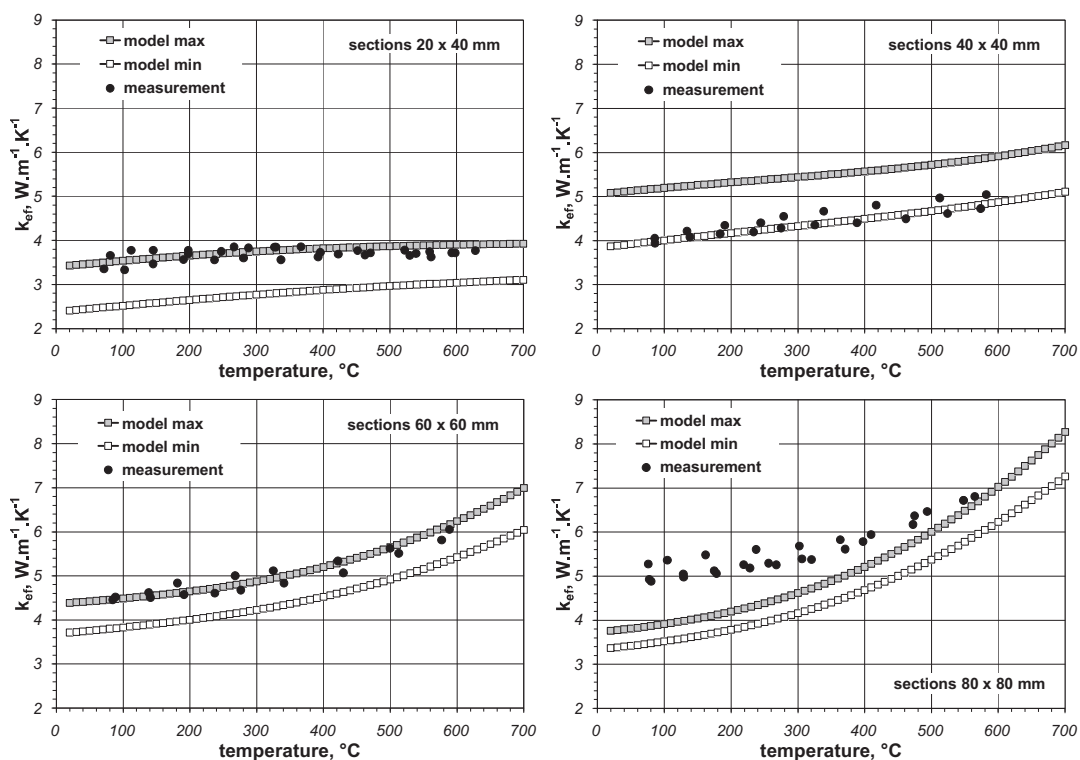
Ponieważ operacje obróbki cieplnej mają istotny wpływ na zużycie energii, wydajność produkcji, emisję zanieczyszczeń oraz jakość wyrobu końcowego, muszą być precyzyjnie kontrolowane z wykorzystaniem automatycznych układów regulacji. Jest to związane z doбором optymalnej dla danego przypadku krzywej nagrzewania. Dopasowania takiego dokonuje się na drodze obliczeniowej za pomocą odpowiednich modeli numerycznych zjawisk wymiany ciepła zachodzących w układzie piec-nagrzewany wsad [5-8]. W przypadku nagrzewania pakietów profili, jednym z elementów takiego modelu jest procedura obliczania efektywnej przewodności cieplnej.

## Charakterystyka proponowanego modelu

Prezentowany model przepływu ciepła opiera się na analogii cieplno-elektrycznej. Wykorzystując podobieństwo w opisie zjawisk przepływu prądu elektrycznego i ciepła, każdemu ze sposobów przepływu ciepła, jaki występuje w obrębie pakietu profili, przyporządkowuje się stosowny opór cieplny [8]. Punktem wyjścia do analizy jest model geometryczny rozpatrywanego wsadu, którym jest płaskie, upakowane złożo profili, z którego następnie wyodrębnia się tzw. elementarną komórkę wymiany ciepła. Całkowity opór cieplny takiej komórki  $R_c$  oblicza się jako kombinację połączeń szeregowych i równoległych poszczególnych oporów cieplnych. Natomiast efektywną przewodność cieplną wyznacza się jako iloraz wymiaru charakterystycznego komórki oraz oporu cieplnego  $R_c$ , co wynika z definicji oporu przewodzenia ciepła dla płaskiej warstwy [9].

### Weryfikacja wyników obliczeń

Poprawność wyników obliczeń opisanego modelu zweryfikowana została za pomocą danych pomiarowych efektywnej przewodności cieplnej. Pomiary te wykonano na stanowisku laboratoryjnym działającym na zasadzie jednopłytkowego aparatu Poensgena (ang. *guarded-hot-plate apparatus*). Działanie tego stanowiska spełnia wymagania następujących norm [10, 11]. Pomiary wykonano dla czterech pakietów profili: 20 x 40 mm, 40 x 40 mm, 60 x 60 mm i 80 x 80 mm, w zakresie temperatury 50 – 600°C. Wyniki obliczeń modelowych i pomiarów eksperymentalnych odpowiadających wymienionym przypadkom wsadu w funkcji temperatury przedstawiono na rysunku 1. Z uwagi na zróżnicowanie warunków dla kontaktowego przewodzenia ciepła między przylegającymi profilami w pakietach, wyniki modelowe dla każdego przypadku mieszczą się pewnym zakresie, między wartością *model min* a wartością *model max*. Jak widać, w większości przypadków wyniki modelowe pokrywają się z danymi pomiarowymi. Największa rozbieżność odnotowana została w przypadku profili o największym rozmiarze (80 x 80 mm).



**Rys. 1.** Wyniki obliczeń modelowych i pomiarów efektywnej przewodności cieplnej pakietów stalowych profili prostokątnych

### Literatura

- [1] Kolmasiak C., Wyleciał T., Heat treatment of steel products as an example of transport phenomenon in porous media, *Metalurgija*, vol. 57, pp. 363-366, 2018
- [2] Kaviany, M., Principles of Heat Transfer in Porous Media, 2nd ed., Springer-Verlag, New York, pp. 119-131, 1995
- [3] Van Antwerpen W., du Toit C.G., Rousseau, P. G., A Review of Correlations to Model the Packing Structure and Effective Thermal Conductivity in Packed Beds of Mono-Sized Spherical Particles, *Nuclear Engineering and Design*, vol. 240, pp. 1803-1818, 2010
- [4] Öchsner, A., Murch, G. E., and de Lemos, M. J. S., Cellular and Porous Materials: Thermal Properties Simulation and Prediction Weinheim: Wiley-VCH, 2008
- [5] Sverdlin A. V., Ness, A. R., Fundamental Concepts in Steel Heat Treatment - Metallurgy and Technologies, edited by Totten, G. E., CRC Press, Boca Raton, pp. 121-164, Chap. 3, 2006



- [6] Sahay S. S. and Krishnan, K., Model Based Optimization of Continuous Annealing Operation for Bundle of Packed Rods, *Ironmaking and Steelmaking*, vol. 29, pp. 89-94, 2007
- [7] Sahay, S., Mehta, R., Krishnan, K., Genetic-Algorithm-Based Optimization of an Industrial Age-Hardening Operation for Packed Bundles of Aluminum Rods, *Materials and Manufacturing Processes*, vol. 22, pp. 615-622, 2007
- [8] Sahay, S. S., Krishnan, K., Kuthle, M., Chodha, A., Bhattacharya, A., Das, A. K., Model-Based Optimization of a Highly Automated Industrial Batch Annealing Operation, *Ironmaking and Steelmaking*, vol. 33, pp. 306-314, 2006
- [9] Cengel, Y. A., *Heat and mass transfer - a practical approach*, 3rd edition, Mc Graw Hill, New York, 2006
- [10] ASTM C1044-12: Standard practice for using a guarded-hot-plate apparatus or thin-heater apparatus in the single-sided mode, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012
- [11] ASTM C177-13: Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded-hot-plate apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2013

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.

# PERMANENT OR TEMPORARY? – NEW INSIGHT INTO THE EFFECTS OF EXPOSURE TO EXTREMELY LOW FREQUENCY (50 HZ) ELECTROMAGNETIC FIELD

**Joanna WYSZKOWSKA<sup>1</sup>, Agnieszka SIEJKA<sup>1</sup>, Hanna KLETKIEWICZ<sup>1</sup>,  
Justyna MALISZEWSKA<sup>1</sup>, Angelika KLIMEK<sup>1</sup>, Maria STANKIEWICZ<sup>1</sup>,  
Marek WIECZOREK<sup>2</sup>, Justyna ROGALSKA<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Nicolaus Copernicus University, Faculty of Biological and Veterinary Sciences,  
Department of Animal Physiology and Neurobiology, Toruń

<sup>2</sup>University of Lodz, Faculty of Biology and Environmental Protection,  
Department of Neurobiology, Łódź

Living organisms are complex electrochemical systems that evolved under exposure to a natural, relatively weak (electro)magnetic field (EMF). They interacted with and adapted to this environment. In recent years the number of artificial sources of EMF in an enormous range of new frequencies and intensities has been increased. It raises concerns about its unfavourable effects on organisms mostly pointing to disruptions of the functions of the nervous system. Recent studies indicated that EMF exposure can act as a stress factor [1].

Stress can be acute (short-term) or long-term. Acute stress is usually not a health risk. In contrast, long-term stress causes a wide variety of health problems [5]. In many cases, the pathophysiological complications of disease arise from stress. Stress can be either a triggering or aggravating factor for many diseases and pathological conditions [2]. Stress is known to strongly affect the immune system and its influence depends on the type, level, and duration of the stressor.

Epidemiological data suggest that there is a link between exposure to EMF and immunological system activation, and the occurrence of neurodegenerative diseases [3]. In the previous article it was shown that EMF (50 Hz, 7 mT) exposure induces changes in the immune response, specifically at the cellular level. Single 24 h-lasting exposure provoked changes (a significant increase of the plasma IL-1b, IL-6, and IL-2 levels, and caused an elevation in blood parameters, such as white blood cells, lymphocytes, haemoglobin, and haematocrit levels) that indicates an immune alarm stimulation. In contrast, exposure of rats to an EMF of shorter duration (50 Hz, 7 mT, 1 h/day for 7 days) did not lead to any changes in plasma levels of cytokines and haematological parameters what suggests, that under the conditions which are typical for therapeutic use of EMF (repeated short daily exposure) the immune potentially harmful response doesn't occur [4].

We put forward the hypothesis that both parameters: the intensity of EMF and the duration of exposure can determine the activity of sympatho-adrenal system (SAM) (one of the main stress systems in organism) as well as the duration of exposure effects - in other words the permanent or temporary effects. Therefore the aim of the study was to determine the long-term consequences of the exposure to 50 Hz, 1 mT and 7 mT EMF on the noradrenaline metabolism in rats brain. Noradrenaline is a hormone and neurotransmitter belonging to the catecholamine family and its general function is to mobilize the brain and body for action. It is released in highest level during situations of stress or danger, in the so-called fight-or-flight response. In mammals, noradrenaline is rapidly degraded to various metabolites. One of

the principal end products is MHPG, which is thought to be biologically inactive and is excreted in the urine.

Adult (3-month old) Wistar male rats were divided into groups: 1) animals exposed to EMF of 1 mT 2) animals exposed to EMF of 7 mT. Animals were exposed to EMF for one week 1h or 8h/day. Control animals were subjected to the same experimental procedure as the respective animals exposed to EMF except magnetic field exposure. The levels of noradrenaline and its metabolite MHPG in the hypothalamus, locus coeruleus, adrenal glands and plasma were measured using HPLC immediately and 5 weeks after the exposure in group exposed to 1mT and in group subjected to 7mT additionally 9 and 13 weeks after the exposure.

The results have shown that 50 Hz EMF of both values of a flux density (1 and 7 mT) increased the level of noradrenaline in rats immediately after exposure and the change in this hormone level was clear even 3 months later, but only in rats exposed to 7 mT independently on duration of exposure (1 or 8 h/per day). It suggests that exposure to EMF is a stressor acting in a dose dependent manner.

It opens discussion on a long lasting effects of exposure to the "strong" EMF as well as on potentially positive effects of the "low intensities" EMF and their use in therapy as it can be a factor stimulating adaptive response in the organism.

Research supported by project No. 2017/25/B/NZ7/00638 National Science Centre, Poland

#### References:

- [1] J. Wyszowska, M. Stankiewicz, A. Krawczyk, and T. Zyss, "Octopamine Activity as Indicator of Electromagnetic Field Influence on Insect Nervous System," 2006.
- [2] H. Yaribeygi, Y. Panahi, H. Sahraei, T. P. Johnston, and A. Sahebkar, "The impact of stress on body function: A review," *EXCLI J*, vol. 16, pp. 1057–1072, Jul. 2017, doi: 10.17179/excli2017-480.
- [3] M.-O. Mattsson and M. Simkó, "Is there a relation between extremely low frequency magnetic field exposure, inflammation and neurodegenerative diseases? A review of in vivo and in vitro experimental evidence," *Toxicology*, vol. 301, no. 1, pp. 1–12, 2012.
- [4] J. Wyszowska, T. Jędrzejewski, J. Piotrowski, A. Wojciechowska, M. Stankiewicz, and W. Kozak, "Evaluation of the influence of in vivo exposure to extremely low-frequency magnetic fields on the plasma levels of pro-inflammatory cytokines in rats," *Int. J. Radiat. Biol.*, pp. 1–28, Jul. 2018, doi: 10.1080/09553002.2018.1503428.
- [5] Lundberg U. (2008). Stress and (public) health. In Heggenhougen K., editor. (Ed.), *International Encyclopedia of Public Health* (pp. 241–250). Oxford: Academic Press.

# TERAPIA ELEKTROCEUTYCZNA – FIZYKA W LECZENIU INKONTYNENCJI

Elżbieta WYSZYŃSKA<sup>1</sup>, Józef MRÓZ<sup>1</sup>, Andrzej KRAWCZYK<sup>2</sup>, Ewa KORZENIEWSKA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Wojskowy Instytut Medyczny, Klinika Rehabilitacji

<sup>2</sup> Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji w Lublinie

<sup>3</sup> Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki

## Wstęp

Wyzwaniem współczesnej medycyny w dziedzinie rehabilitacji coraz częściej są pacjenci zgłaszający się do lekarza lub fizjoterapeuty z dolegliwościami, które uznawane są za intymne i krępujące. W związku z tym pozostają nieleczone a mogą być nawet przyczyną wykluczenia i izolacji społecznej. Dolegliwości te związane z niewydolnością dna miednicy to: nietrzymanie moczu i/lub stolca (*łac. urinariorum/fecal incontinentia, ang. urinary/fecal incontinency*).

Uśrednione badania z wielu kontynentów uwiarydliły, iż inkontynencja dotyka około 28% ludzi co czyni ją problemem populacyjnym. W Polsce brakuje badań epidemiologicznych, ale szacuje się iż około 5-6 milionów osób zmaga się z dolegliwością. W grupie osób szczególnie zagrożonych znajdują się kobiety po wielu ciążach, po naturalnych porodach, po zabiegach w obrębie dna miednicy, w okresie menopauzalnym czy o szczególnych warunkach anatomicznych oraz mężczyźni po prostatektomii. U obu płci wysoki Body Mass Index (BMI) znamienne zwiększa odsetek osób zagrożonych. Odrębną grupę stanowią pacjenci z uszkodzeniami neurologicznymi, szczególnie dyskopatią, która obecnie dotyka coraz więcej osób.

Problem pojawia się ze względu na dysfunkcje anatomiczne – osłabienie mięśni dna miednicy oraz na uszkodzenia czynnościowe dotyczące ośrodków nerwowych odruchowych w rdzeniu kręgowym, czy zależnych od woli ośrodków nadrzędnych w Centralnym Układzie Nerwowym.

Nietrzymanie moczu występuje jako mimowolne wyciekanie nawet niewielkich ilości moczu spowodowane wysiłkiem, parciem nagłym lub obiema tymi przyczynami.

Nietrzymanie stolca występuje pod postacią mimowolnego wydalania gazów i stolca.

Wiele powszechnie występujących schorzeń przyczynia się do wystąpienia objawów niewydolności dna miednicy, np.: cukrzyca, zespoły otępienne, dyskopatie.

## Terapia Elektroceutyczna

W terapii elektroceutycznej można wyróżnić dwa podejścia:

- wykorzystujące pole elektryczne, prąd elektryczny (stymulacja elektryczna),
- wykorzystujące pole magnetyczne, magnesy (stymulacja magnetyczna).

Oba te podejścia w terminach fizyki elektromagnetyzmu opisane są jako dominacja bądź składowej elektrycznej pola elektromagnetycznego, bądź składowej magnetycznej.

### *Wykorzystanie impulsów elektrycznych w terapii niewydolności dna miednicy*

Elektroterapia prowadzona jest, w wyspecjalizowanych ośrodkach, przy pomocy odpowiednich urządzeń z zastosowaniem odpowiednio skonstruowanych elektrod. Obecnie większość to aparaty wielofunkcyjne, przenośne lub mini aparaty do terapii indywidualnej, wyposażone w różne rodzaje elektrod powierzchniowych a także elektrody wewnętrzne. Można je stosować w terapii mięśni zdrowych, uszkodzonych, przeciwbólowej, dla poprawy ukrwienia tkanek czy stymulacji układu autonomicznego.

W dobie intensywnego rozwoju techniki i medycyny oraz powszechnej miniaturyzacji urządzeń prędko rozwija się gałąź indywidualnej terapii niewydolności dna miednicy. Optymalne natężenie prądu podczas zabiegu dobierane jest indywidualnie. Podczas terapii występuje zjawisko przyzwyczajania, stąd po kilku

tygodniach terapii należy zwiększyć natężenie impulsów. Pozostałe parametry (częstotliwość, szerokość impulsu) są zmienne w zależności od potrzeby uzyskania konkretnego efektu. Terapia prowadzona jest 20 minut dziennie, codziennie, w domu pacjentki/pacjenta za pomocą specjalnych sond aplikowanych doodbytniczo lub dopochwowo (Rys.1).



**Rys. 1.** Aparat do terapii indywidualnej z aplikatorami dopochwowymi

Zjawiska fizyczne wykorzystane w opisanych urządzeniach mogą być wielce pomocne w leczeniu i profilaktyce problemów poważnie ograniczających komfort i jakość życia oraz w wymiarze globalnym życie społeczne osoby dotkniętej chorobą.

#### *Wykorzystanie magnetoterapii w terapii niewydolności dna miednicy*

Alternatywną metodą leczenia niewydolności dna miednicy jest stymulacja tej części ciała silnym polem magnetycznym. W tym celu wykorzystuje się znane na rynku rehabilitacyjnym urządzenie SALUS Talent (Rys. 2). Przeznaczeniem tego urządzenia była stymulacja kończyn i górnych części ciała. Stymulacja dna miednicy jest swoistą innowacją, polegająca na użyciu znanego urządzenia w nowym obszarze terapeutycznym. W tym przypadku działanie urządzenia powoduje **depolaryzację nerwów i przez to skurcz mięśni dna miednicy.**



**Rys. 2** Urządzenie Salus Talent z przeznaczeniem do leczenia inkontynencji z zastosowaniem magnetoterapii

Parametry urządzenia są takie same jak w przypadku jego pierwotnego zastosowania, a zetem indukcja magnetyczna  $B_{max}$  do 3T i częstotliwość do 100 Hz.

Terapia odbywa się w trybie: 8-12 zabiegów (15-20 minutowych), 2-3 zabiegi tygodniowo.

#### *Opisy przypadków*

Opisane powyżej metody są stosowane w Klinice Rehabilitacji Wojskowego Instytutu Medycznego w Warszawie. Zależnie od rodzaju uszkodzenia i przebiegu choroby wybierane są metody leczenia.

**Zabiegi elektrostymulacji indywidualnej** w warunkach domowych zastosowano u dwóch pacjentek: młodej, uprawiającej sport kobiety po operacji dyskopatii lędźwiowej oraz u dojrzałej pacjentki z obciążonym wywiadem chorobowym.

W przypadku pierwszej pacjentki wyniki terapii były pozytywne - pacjentka uzyskała poprawę komfortu i jakości życia. W przypadku drugiej pacjentki, ze względu na obciążenie chorobami towarzyszącymi, efekty terapii nie były zadowalające.

#### **Wnioski**

Omówione w artykule techniki elektroceutyczne są potwierdzeniem coraz silniejszego związku pomiędzy światem techniki i światem medycyny. Ze względu na możliwości technologiczne w wytwarzaniu czynnika stymulującego (w tym wypadku pola elektrycznego impulsowego i pola magnetycznego o dużej indukcji magnetycznej) udało się stworzyć warunki do leczenia przypadłości niezwykle uciążliwych dla pacjentów. Zespół inżyniersko-medyczny przewiduje dalsze badania, które mogą (i powinny) przyczynić się do zwiększenia skuteczności i dostępności terapii.

# ENERGY PROCESSES IN AN ELECTROHYDRAULIC COMPLEX WITH DIFFERENT RATES OF CONTROL OF THE SHUT-OFF AND CONTROL VALVES

Mykhaylo ZAGIRNYAK, Tetyana KORENKOVA, Victoriya KOVALCHUK

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

## Introduction

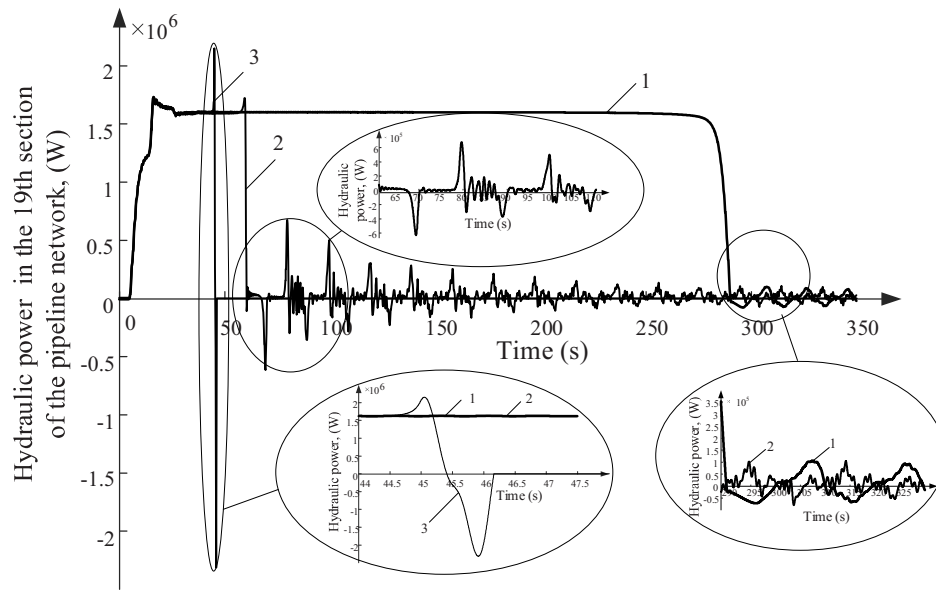
Emergency shutdown or abnormal turning on of pumping units (PU), incorrect control of pipeline shut-off and control valves, abrupt actuation of check valves result in a rapid change in the liquid flow rate and may be accompanied by the occurrence of surges in pressure systems. The damage caused by pressure waves in water supply and disposal systems is especially significant in main pipelines of large length and diameter. Surges cause breaks of pipelines and depressurization of joints, failure of pump elements, breakdown of shut-off and control equipment, violation of pipeline fastening elements [1]. This results in the deterioration of the controllability of the whole electrohydraulic complex (EHC).

## The research method and results

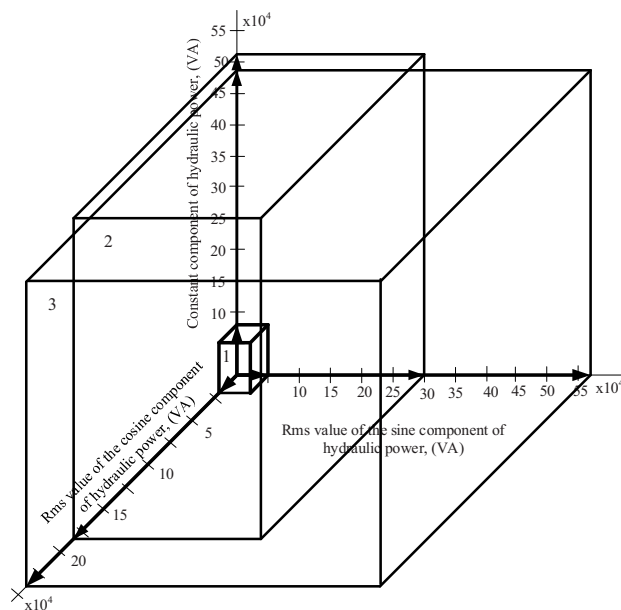
A surge is a complex phenomenon associated with the appearance of shock waves (pressure and head fluctuations), leading to unsteady hydraulic modes of operation. A surge is accompanied by the transformation of energy processes in the pipeline network: at a sharp shutoff of the flow section the kinetic energy of the liquid is converted into the potential energy of elastic deformation. The analysis of EHC energy reaction (energy controllability) to a change in control actions makes it possible to assess the risk of a surge and take timely measures to prevent or minimize it.

A mathematical model has been developed to research the energy processes in EHC with controlled pipeline valves. It includes a pump; a pipeline network represented by  $n$  number of sections with equal parameters; a stopcock with a variable-frequency electric drive installed in the last section of the hydraulic network; a consumer, at the entrance of which hydraulic resistance equivalent to the current water consumption is generated. A mathematical description of the model elements is given in [2]. The stopcock control rate  $\beta(t)$  is described by the expression of the form:  $\beta(t) = 1 - (t/t_{sh})$ , where  $t$ ,  $t_{sh}$  – the current time and the time of complete closing of the valves, respectively, s. EHC parameters: the pump rated head  $H_{pn} = 104$  m, discharge  $Q_{pn} = 1.6$  m<sup>3</sup>/s, the consumer hydraulic resistance  $R_{cn} = 40.65$  s<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>; the velocity of the shock wave propagation  $v = 1000$  m/s, length  $L = 5000$  m, diameter  $d = 1.2$  m, the number of the sections  $N = 20$  and specific parameters  $r_0 = 0.052$  s<sup>2</sup>/m<sup>6</sup>,  $l_0 = 0.0392$  s<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>,  $c_0 = 407.747$  m<sup>-1</sup> of the pipeline; the power of the stopcock induction electric drive  $P_{zn} = 5.2$  kW, rotation frequency  $n_{zn} = 1500$  rev/min, the approximation coefficients of the stopcock hydraulic characteristic  $A = 0.505$ ,  $B = 1.868$ ,  $C = 2.35$ ,  $D = 1.4$ , the coefficient of hydraulic resistance with complete opening of the valves  $\xi_0 = 0.05$ . The rate of the stopcock control is set by different times for the complete closure of the valves  $t_{sh1} = 250$  s,  $t_{sh2} = 20$  s,  $t_{sh3} = 5$  s. As a result, it was found out that the stopcock control with the rate equal to  $t_{sh1}$ , is accompanied by an insignificant excess of the head in the pipeline; with closure time  $t_{sh2}$  there is a sharp increase of the pressure in the stopcock. It exceeds the value of the pump rated head by 2.5 times. At the control time equal to  $t_{sh3}$ , a surge occurs in the hydronetwork, which results in the breakdown of the pipeline and complete outflow of the liquid. For the considered cases Fig. 1 contains the curves of instantaneous power alteration  $P_{net\_19}(t)$  at the 19-th section of the pipeline network, whereat the controlled stopcock closes at time moment  $t = 40$  s. A harmonic analysis of the power time function, presented in the form of trigonometric series, was used as a method for the assessment of the energy conversion processes in EHC during the surge [3]. Fig. 2 contains a graphical interpretation of the energy conversion processes in EHC. It demonstrates a change in the constant and orthogonal alternating (cosine and sine) power

components with a change in the time of the stopcock complete closure. This allows one to determine the energy volume in the hydraulic system and obtain such estimates of energy modes as the root mean square value, harmonic composition that correspond to the processes occurring in the system.



**Fig. 1.** The hydraulic power time-variable curves with different rates of the stopcock closure at: 1 –  $t_{sh1} = 250$  s; 2 –  $t_{sh2} = 20$  s; 3 –  $t_{sh3} = 5$  s



**Fig. 2.** The diagrams of the energy volume alteration with different rates of the stopcock closure at: 1 –  $t_{sh1} = 250$  s; 2 –  $t_{sh2} = 20$  s; 3 –  $t_{sh3} = 5$  s (with pipeline breakdown)

### Conclusions

It is shown that the rate of the stopcock control is accompanied by a change in the energy of the liquid flow in the pipeline. If the required rate of the stopcock control is not observed, a surge occurs in the hydraulic network, which causes a breakdown of the pipeline. Such an emergency mode is accompanied by a sharp deformation of the energy volume with an increase in variable power components, which results in a loss of controllability of the whole electrohydraulic complex.



**References**

- J. K. Roy, P. K. Roy, P. Basak, “Water hammer protection in water supply system: A new approach with practical implementation”, Proceedings of ICCIA Kolkata, 2011, pp. 1–6.
- M. Zagirnyak, O. Kravets, T. Korenkova, “The optimal control of dynamic loads in a pump complex with adjustable pipeline valves”, Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2016, vol. 3, pp. 78–86.
- M. Zagirnyak, V. Kovalchuk and T. Korenkova, “Harmonic analysis of power in an electrohydraulic complex with nonlinear processes in the pipeline system”, 2016 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS 2016 – Conference Proceedings, 2016, pp. 143–148, doi:10.1109/IEPS.2016.7521850.

# SPECIAL FEATURES OF ACCOUNTING THE CHANGE IN PARAMETERS OF INDUCTION MOTORS IN FREQUENCY CONTROL SYSTEMS WITH TECHNOLOGICAL FEEDBACK

Mykhaylo ZAGIRNYAK, Viacheslav PRUS

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Ukraine

## Introduction

A special feature of modern systems of water and heat supply and ventilation, designed for use in production and the communal sector, consists in the installation of variable-frequency electric drives of pumps and ventilators, which are closed by temperature or pressure technological feedback. Taking into account the fact that induction electric machines (EM) are most often drive motors, frequency converters (FC) of various structures and manufacturers are used as control devices. Depending on the cost and energy efficiency of the systems, this may be the equipment of such firms as Schneider, Mitsubishi, Siemens and others. At the same time, from the standpoint of controllability, preference is given to manufacturers producing the main actuators, such as DAB and Danfoss. The lines of their converters, in addition to the general functions that are standardly implemented in FC, are characterized by the presence of additional possibilities that facilitate adjustment and increase the efficiency of pumping and ventilating equipment. The automatic adjustment of the converter to the parameters of a controlled electric machine of a pump or a ventilator is one of these possibilities. Since the algorithms for such adjustment are rather simplified and involve the use of standard methods for identifying the parameters of the equivalent circuit, they are practically inapplicable for induction motors (IM) of pumps and ventilators that have partially exhausted their resource, as well as machines that have been modernized or restored during various types of repairs.

Taking this into consideration, the purpose of the paper is to substantiate the method of accounting for changes in the IM parameters when the properties of the main structural elements change during long-term operation and repairs.

## Materials and results of the research

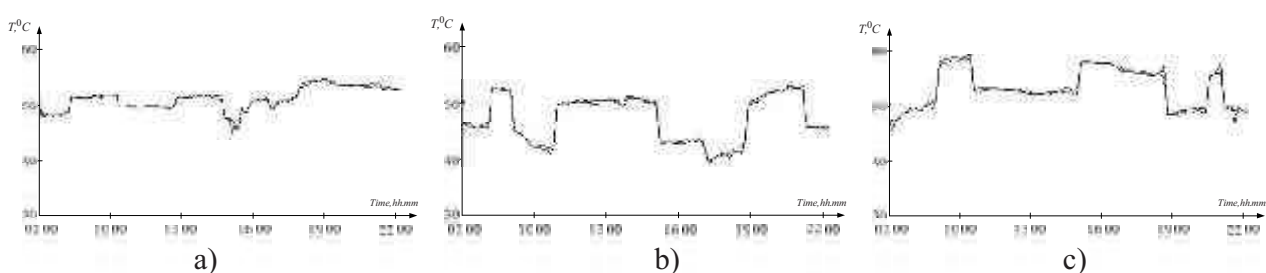
The main scientific and practical aspect of solving the problem is the answer to the question about the expediency and permissible operating modes of IM as part of pumping and ventilating equipment. To solve it, a comprehensive assessment of the reliability and energy efficiency of the operation of such IMs is required. Besides, if their reliability indicators, according to [1], directly depend on the excess of thermal and vibration parameters, the energy efficiency indicators are determined by the required power  $P_2$  on the shaft under the conditions of redistribution of the components of losses and changes in the efficiency  $\eta$  and power  $\cos \varphi$  factor.

A feature of IM aging during repairs and long-term operation consists in a general deterioration in the properties of the magnetic system, often interconnected and/or combined with the presence of local damage to the stator winding and bearing assemblies. Magnetic symmetry violations are caused by the deterioration of the properties of laminated electrical steel cores, which form the basis of the IM magnetic

system. As shown in [2], this manifests itself in a shift of the EM operating point to the domain of higher saturation with a general decrease in the saturation magnetic induction, an increase in the magnetic field strength, and a sharp increase in steel losses. The indicated phenomenon for the case of electromagnetic parameters is taken into account by setting the real dependence of the magnetic permeability on the magnetic field strength, as well as by means of an updated calculation of losses in steel. In addition, the occurrence of irregularities in the air gap due to the destruction of bearings, subsidence of bearing assemblies, as well as the influence of various types of imbalance introduced by the rotor, additionally leads to a violation of magnetic symmetry. This also results in a change in electromagnetic parameters, mainly due to their uneven distribution in phases and around the circumference of the stator [2]. In terms of breaking electrical symmetry, first of all, it is necessary to take into account possible changes in the parameters of the windings, in particular, their electrical resistance  $R_i$ , arising from the variation in turns number  $W_i$  in case of incorrect structural modifications or partial damage.

IM main parameters, relative to which calculations are performed and indirect measurements are carried out as part of typical FC, include their published data: rated power  $P_{2n}$  on the shaft, rated voltage  $U_{1n}$  and stator current  $I_{1n}$ , efficiency  $\eta$  etc., as well as a number of electromagnetic parameters of the equivalent circuit, such as resistance  $R_1$  and complete  $L_1$  inductance, which is for IM the sum of inductances of leakage  $L_{s1}$  and magnetizing  $L_\mu$  circuit.

The obtained results have been tested on IM of a Wilo TOP S 50/10 pump, operated in a centralized heating system for 5 years with one major overhaul, powered by a VLT Micro Drive FC-51 FC made by Danfoss. As the research has shown, the best results in terms of self-adjustment can be obtained with preliminary manual assignment of published data and the necessary electromagnetic parameters calculated according to [2]. To improve the accuracy of identification of the missing IM parameters, the need to use the automatic motor adaptation (AMA) function built into the converter was confirmed. It enables refining them experimentally in the decelerated mode and in the rotation mode, using the internal control and measuring microprocessor system of the FC. At the same time, it was proved that the same procedures, carried out without taking into account the adjustment of preset parameters or without the AMA function, give significantly worse results in terms of solving the problem, not allowing implementing the necessary quality indicators of transient control in a closed-loop system with technological feedback, as Fig. 1 demonstrates.



**Fig. 1** – The graphs of changes in the controlled parameters when setting and stabilizing the temperature of the heat flow of the Wilo TOP S 50/10 pump with VLT-51 Micro Drive FC:

a) setting parameter change with AMA function; b) setting parameter change without AMA function; c) preservation of original parameters with AMA function (dashed line – setting the parameter, solid line – the results of its processing)

In addition, the proposed modification of the parameter identification method allows increasing the operating values of  $\eta$  and  $\cos \phi$  within the ranges of 2.73-4.13 % and 4.47-6.28 % respectively, more efficiently providing the function of the control of the excess of the stator winding temperature by the maximum value of its current.

## **Conclusions**

1. A method for taking into account changes in the properties of structural units and elements of induction motors used in heat and water supply and ventilation systems controlled by a variable-frequency electric drive with a closed technological feedback has been substantiated.
2. The effectiveness of the proposed solutions for improving the accuracy of identification of the main parameters, increasing energy efficiency and providing the necessary quality indicators for the regulation of induction motors of industrial mechanisms with a high mean-time-between-failure has been confirmed.

## **References**

- [1] N.F. Kotelenets, N.L. Kuznetsov. Testing and reliability of electric machines. – M.: Vysshiaia shkola, 232 p., (1988), (in Russian).
- [2] M. Zagirnyak, V. Prus, D. Miljavec, Improved method for calculation of parameters of electromagnetic and power processes in electric circuits with steel in saturation mode, Technical Electrodynamics, 2015, № 4, pp. 12–18.

# ELECTROMOBILITY RESEARCH: THE IMPACT OF USING RENEWABLE ENERGY SOLUTIONS ON THE DEVELOPMENT OF ELECTROMOBILITY

Anna ZIELIŃSKA<sup>1</sup>, Mikołaj SKOWRON<sup>2</sup>, Andrzej BIENI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii

<sup>2</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
Katedra Elektrotechniki i Elektroenergetyki

<sup>3</sup> AGH Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie  
Katedra Energoelektroniki i Automatyki Systemów Przetwarzania Energii

They refer to the Directive 2014/94 / EU of the European Parliament and of the Council on the development of alternative fuels infrastructure, which imposes an obligation on Member States (including Poland) to implement it and sets the "framework for measures regarding the development of alternative fuel infrastructure" [1,2], a research problem was posed, which is the interdependence of a renewable energy source, i.e. photovoltaics with electro-electricity.

The paper presents research results in which the main question was what is the consumer relationship between owners of an alternative energy source and their decision to invest in further solutions in this field - electromobility. Testing about 450 independent respondents from three groups, we received answers regarding relationships, public awareness, investment opportunities as well as the desire to develop and projected demand for electric vehicles. All results and answers were properly analyzed and presented in the extension of the work. The willingness to conduct the research was dictated not so much by "boom" of solutions from the photovoltaic industry, but by the development of the electromobility sector, directions, government guidelines in this area, as well as the increasing number of electric vehicles on Polish roads every year [3].

The survey was conducted on three groups of respondents: prosument - having a functioning solar installation (they constituted 37% of respondents), interested - persons who do not have installations but interested in investing in this type of energy source in the future (constituted 30% of respondents), and uninterested - persons without PV installations and those not planning to invest in the installation (they constituted 33% of respondents). In total, 459 database records were examined.

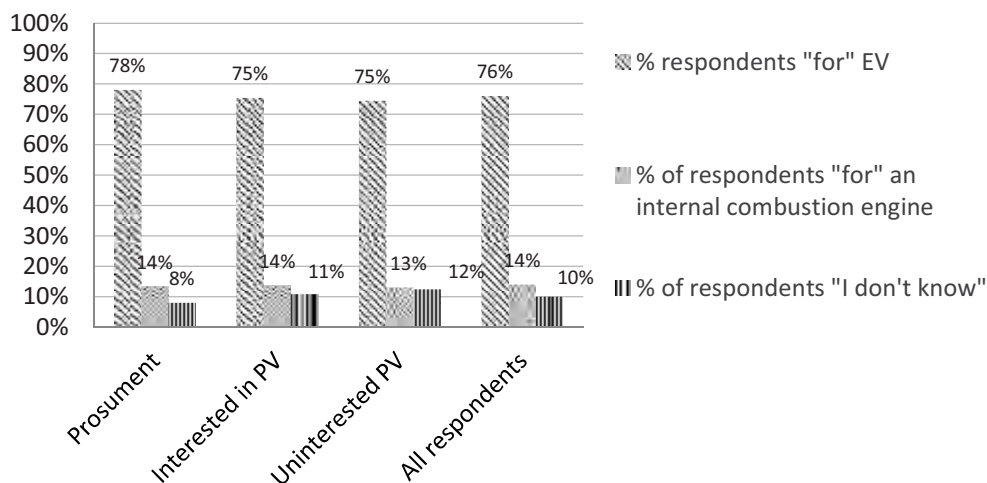


Fig. 1. Picture of willingness to buy an electric car, broken down into the statuses of the respondents

The first and main question that was asked was: "If an electric car cost like a combustion car like the same class and there were enough chargers available in Poland at a normal price for charging, would you prefer buying an electric or petrol?". The collected data shows that the percentage of people interested in an electric and combustion car is similar for all statuses. However, it is optimistic that, assuming the equalization of costs and charging options, the absolute majority of respondents were in favor of buying an electric car (Fig. 1).

The next questions that appeared in the survey were related to clarifying the power of interest in an electric and combustion car, the desire (or not) to have an energy store and the preferred ways of charging an electric car. In the question about the type of car, data analysis showed that customers in the status "Uninterested" preferring an internal combustion car are more strongly confirmed in their beliefs. Customers from the "Interested" group opting for a petrol car are less confident in their conviction, which may result from insufficient knowledge in the subject. The biggest discrepancy in determining the strength of preferences for EV charging method appeared in the case of the status of "Interested", in other words, the most expressive responses were respondents in the status "Interested".

As you know, electromobility is not only electric cars but also the entire process related to their landing, so while remaining on the topic of questions about electric car, respondents were asked about the desire to have a private energy store and preferences as to how to charge. When compiling the results, it was easy to conclude that the majority of respondents were in favor of having a magazine, but the question of how to load it turned out to be the most problematic for respondents. It caused the most consternation and additional questions. Respondents, regardless of the group, most often used the answer "it depends" - which indicates the answer is not obvious only multidimensional. This is evidenced by the fact that the most frequently appearing answer to "5" - representing 27% of those surveyed.

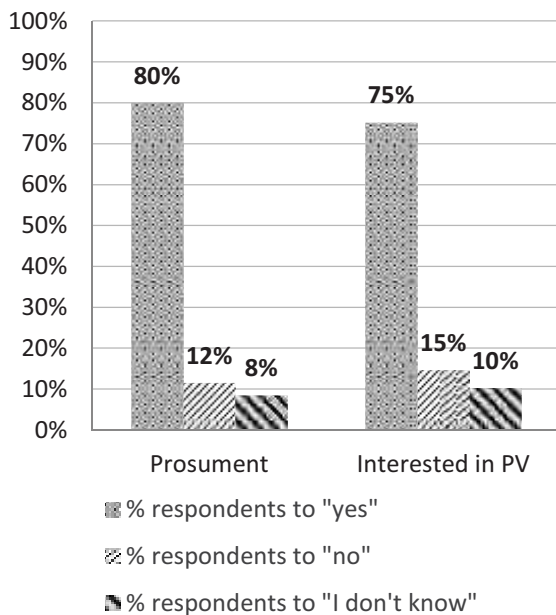


Fig. 2. Respondents' interest in energy storage rating on a scale of 1-10.

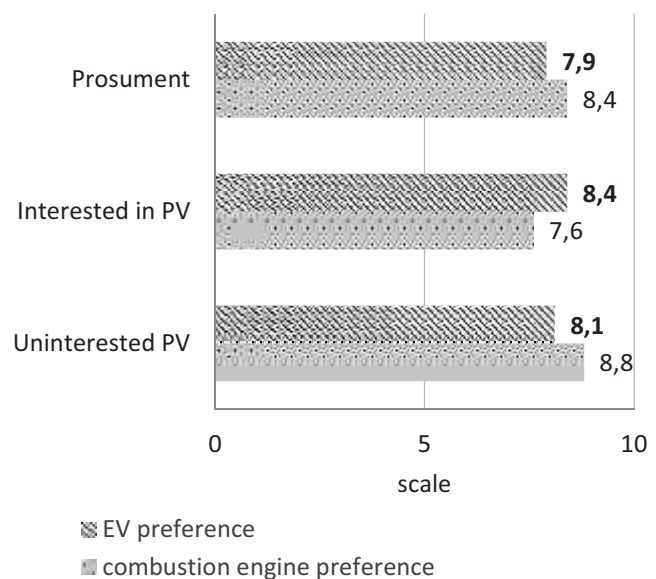


Fig. 3. Level of interest in the type of car. Average rating on a scale of 1-10.

Electromobility, as you can see, has very optimistic forecasts regarding public perception. More and more drivers are convinced of modern solutions in this field. Of course, the bottleneck in the first place is still the price of the car, but nevertheless it is much lower from year to year, and the good of EV is becoming more available to the general public. When analyzing the presented results, it is also important that the development of the electromobility sector should have a multi-level character - not only the financial availability of the car, but also the largest possible range of batteries and the possibility of charging are important. As the charts show, it is difficult to clearly show that having a renewable source determines the decision-making nature of an investment in an electric car, but it is certain that the prosument will be

the first to experience a positive decrease in the cost of moving, because due to their own electricity produced in the solar installation and used to charge the electric car they will forget about the costs of refueling with traditional fuel they have known so far. To sum up, the impact of renewable sources on electromobility is so great that if you own a solar installation and produce your own energy, charging your car will become free, adding energy storage, access to it will become unlimited in time and the costs of personal transport will cease to exist. Thus, in this aspect, electromobility corresponds strongly to renewable energy solutions.

### **Bibliography**

- [1] Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2014/94/UE z dnia 22 października 2014 r. w sprawie rozwoju infrastruktury paliw alternatywnych (Dz Urz. UE L 307 z dnia 28 października 2014 r., s. 1).
- [2] Jacolik M., Rozwój elektromobilności w Polsce w kontekście wybranych zagadnień prawa konkurencji, Zeszyt Studencki Kół Naukowych Wydziału Prawa i Administracji UAM 2019/ 9.
- [3] Piotrowski P., Baczyński D., Kapler P., Wielowariantowe prognozy liczby pojazdów elektrycznych w Polsce do roku 2025 oraz ich wpływ na roczne zapotrzebowania na energię elektryczną, doi:10.15199/48.2020.01.30, Przegląd Elektrotechniczny, R. 96 NR 1/2020.

# PRACA PROTOTYPOWEGO URZĄDZENIA INDUKCYJNEGO OGRZEWANIA ROZJAZDÓW KOLEJOWYCH PRZY RÓŻNYCH CZĘSTOTLIWOŚCIACH ROBOCZYCH

Robert ŻELAZNY, Paweł JABŁOŃSKI

Politechnika Częstochowska, Wydział Elektryczny

W artykule omówiono zastosowanie urządzeń elektrycznego ogrzewania rozjazdów kolejowych (EOR) które są elementami infrastruktury kolejowej, gdzie ich zadaniem jest ochrona rozjazdów kolejowych przed zablokowaniem przez zalegający śnieg lub lód w okresach zimowych [1]. Urządzenia te działają często na zasadzie grzania oporowego, jednak pojawiają się także inne rozwiązania. Nowoczesne rozwiązania, obecnie w wersjach testowych, są to urządzenia indukcyjnego ogrzewania rozjazdów (IOR) w których wykorzystano zjawisko indukcji elektromagnetycznej. Podczas przeprowadzonych badań zbadano wpływ częstotliwości roboczej pracy takiego urządzenia na czas wytapiania lodu. Pod kątem kompatybilności elektromagnetycznej zbadano także poziomy natężenia pola magnetycznego w otoczeniu takiego urządzenia.

Pojedyncze urządzenie EOR nie jest odbiornikiem o dużym zużyciu energii. Jednak ich liczba sprawia, że cały system EOR jest bardzo energochłonny [2, 3], szacuje się, że urządzenia te zużywają około 40% całkowitego zapotrzebowania na energię elektryczną systemu transportu kolejowego.

Szacunkowy koszt zakupu energii elektrycznej przy zużyciu około 250 GWh wynosi około 140 mln. zł. Nawet niewielka oszczędność w skali jednego urządzenia EOR może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne w skali całego systemu. Korzyści te poprzez zmniejszenie zużycia energii elektrycznej, ale również dbałość o ekologię, to czynniki, które obecnie są bardzo pożądane [4].

Nie jest to jednak jedyna możliwość. Prowadzone są także badania nad wykorzystaniem grzania indukcyjnego zamiast oporowego. Prototypowe urządzenie IOR zostało zabudowane w rozjeździe kolejowym na terenie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. i podłączone celem testowania. Równoległe prototypowe urządzenie IOR zostało poddane badaniom laboratoryjnym na Wydziale Elektrycznym Politechniki Częstochowskiej w celu szczegółowej analizy jego pracy (rys. 1).



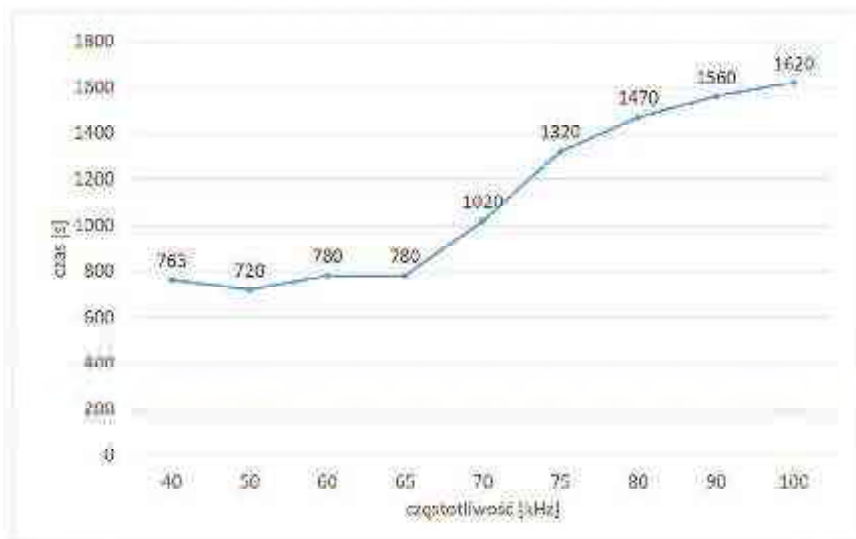
Rys. 1. Kostka lodu w początkowej fazie topnienia

Nowatorskie rozwiązanie IOR stosuje ideę ogrzewania przestrzeni pomiędzy iglicą a opornicą ze zmianą dystrybutora ciepła, który jest oddalony od stopki szyny. System z odizolowanym elementem grzejącym od stopki szyny powoduje zmianę dystrybucji ciepła w procesie wytapiania śniegu lub lodu, powodując wykorzystanie wytworzonego ciepła w sposób bardziej skuteczny (bezpośrednio w miejsca zalegania



śniegu lub lodu pomiędzy iglicą a opornicą). Koncepcja IOR znajduje również zastosowanie do bezpośredniego ogrzewania siodełek rozjazdów, które również mają bezpośredni wpływ na pracę elementów rozjazdu w okresach zalegania śniegu lub lodu.

Badania zostały przeprowadzone w taki sposób, że na radiatorze IOR umieszczano jednakowe kostki lodu, które podlegały roztopieniu pod wpływem pracującego układu przy różnych częstotliwościach roboczych z zakresu od 40 do 100 kHz. Wszystkie testy zostały przeprowadzone w tej samej temperaturze otoczenia i przy tej samej temperaturze początkowej radiatora. Zaobserwowano, że w zakresie częstotliwości od 40 do 65 kHz czasy topnienia lodu były zbliżone, lecz dalszy wzrost częstotliwości powodował wyraźne zwiększenie czasu topnienia (rys. 2). Znaczne zmniejszenie częstotliwości pracy układu powodowało przy tym wzrost poboru prądu przez radiator, co skutkowało nadmiernym grzaniem układu zasilania i sterowania [5].



**Rys. 2.** Zależność czasu nagrzewania radiatora od częstotliwości w układzie sterującym – badania laboratoryjne

## Literatura

- [1] Iet-1 Instrukcja eksploatacji i utrzymania urządzeń elektrycznego ogrzewania rozjazdów, PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2014.
- [2] Iet-5 „Wytyczne projektowania urządzeń elektrycznego ogrzewania rozjazdów Tom 1. Projektowanie instalacji torowych i przytorowych, dobór grzejników – Warszawa 2015 r., wprowadzona Zarządzeniem nr 46/2015 Zarządu PKP PLK S.A. z dnia 27 października 2015 r.”
- [3] Standardy techniczne – szczegółowe warunki techniczne dla modernizacji lub budowy linii kolejowych do prędkości  $V_{max} \leq 200 \text{ km/h}$  (dla taboru konwencjonalnego) /  $250 \text{ km/h}$  (dla taboru z wychylnym pudłem), wersja 2.0 przyjętych do stosowania uchwałą Zarządu nr 1208/2017 PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dn. 12.12.2017 r.
- [4] Robert Żelazny „Urządzenia elektrycznego ogrzewania rozjazdów oraz oświetlenia zewnętrznego na terenie PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.” ZESZYTY NAUKOWE Politechniki Rzeszowskiej nr 2/2017.
- [5] Robert Żelazny „Jakość energii elektrycznej w liniach zasilających odbiorniki PKP PLK SA” ZESZYTY NAUKOWE Politechniki Rzeszowskiej nr 1/2018.

Projekt finansowany w ramach programu Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego pod nazwą „Regionalna Inicjatywa Doskonałości” w latach 2019-2022 nr projektu 020/RID/2018/19, kwota finansowania 12 000 000 PLN.



**WIRTUALNE SYMPOZJUM ŚRODOWISKOWE PTZE**  
**14 – 16 września 2020 r.**

**Zastosowania  
elektromagnetyzmu  
we współczesnej inżynierii i medycynie**

**ISBN 978-83-88131-02-8**

