



**Paweł Ptak<sup>1</sup>, Tomasz Prauzner<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Instytut Telekomunikacji i Kompatybilności Elektromagnetycznej  
Wydział Elektryczny, Politechnika Częstochowska  
al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa, e-mail: p.ptak@o2.pl*

<sup>2</sup> *Wydział Matematyczno-Przyrodniczy  
Akademia im. Jana Długosza w Częstochowie  
al. Armii Krajowej 13/15, 42-200 Częstochowa*

## DIAGNOSTYKA POWŁOK OCHRONNYCH W BADANIACH I DYDAKTYCE

**Streszczenie.** W artykule opisano metody pomiaru powłok ochronnych wykorzystywanych w konstrukcjach energetycznych, środkach transportu i w przemyśle chemicznym. Do pomiarów zastosowano czujnik indukcyjny o podwójnym uzwojeniu zasilany sygnałem zmiennym w czasie. Pomiarzy takie realizowane są także w ramach zajęć dydaktycznych w pomiarach wielkości nieelektrycznych. Studenci wykonują pomiary na przygotowanych próbkach warstw ochronnych o różnej grubości i umieszczonych na zróżnicowanych podłożach pod względem grubości i zastosowanego materiału ferromagnetycznego. Po przeprowadzonych pomiarach, ich zadaniem jest opracowanie wyników badań oraz ich interpretacja pod względem diagnostycznym.

**Słowa kluczowe:** pomiary diagnostyczne, powłoki ochronne, czujnik indukcyjny.

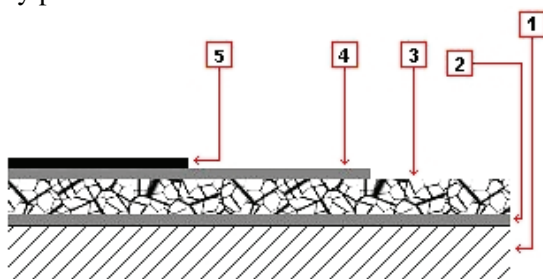
## DIAGNOSTICS OF PROTECTIVE COATINGS IN RESEARCH AND TEACHING

**Abstract:** The article describes the method of measuring the protective coatings used in the construction of energy, transport and chemical industry. For the measurement, a sensor is an induction coil powered by a dual time-varying signal. Such measurements are also implemented within the framework of teaching in measuring non-electrical quantities. The students perform measurements on samples prepared protective layers of varying thickness and placed on different substrates in thickness and used ferromagnetic material. After conducting measurements of their mission is to develop research results and their interpretation in terms of diagnosis.

**Keywords:** diagnostic measurements, protective coatings, inductive sensor.

## Wstęp

Powłoka jest to warstwa wierzchnia pokrywająca elementy maszyn i urządzeń stosowanych w elektroenergetyce, w środkach transportu czy w przemyśle chemicznym [4]. Najczęściej jest ona kilkuwarstwowa i musi spełniać określone funkcje dotyczące wytrzymałości mechanicznej, odporności na szkodliwe działanie czynników środowiskowych oraz spełniać także odpowiednią rolę dekoracyjną. Właściwą wytrzymałość mechaniczną zapewnia najczęściej zastosowanie bezpośrednio na chronionej powierzchni odpowiedniej warstwy z metalu lub jego tlenków bądź stopów kilku metali. Popularnym rodzajem takiej warstwy jest bardzo często powłoka cynkowa. Wierzchnią warstwę w powłokach ochronnych stanowi najczęściej powłoka lakiernicza, która ma zapewnić uszczelnienie warstwy spodniej przed wnikaniem szkodliwych czynników środowiskowych do wnętrza. Powłoka lakiernicza może składać się z kilku warstw, które zapewnią ochronę przed różnymi czynnikami środowiskowymi i zapewnią odpowiednią wytrzymałość. W przypadku, gdy chronione są części zbiorników i maszyn z niebezpiecznymi substancjami łatwopalnymi, mogą być zastosowane dodatkowe warstwy elektroprzewodzące, w celu odprzewadzenia niebezpiecznych ładunków statycznych grożących pożarem czy wybuchem [16]. Na rysunku 1 przedstawiono budowę przykładowej wielowarstwowej powłoki ochronnej pokrywającej zbiorniki z paliwem płynnym narażone na wybuch czy pożar.



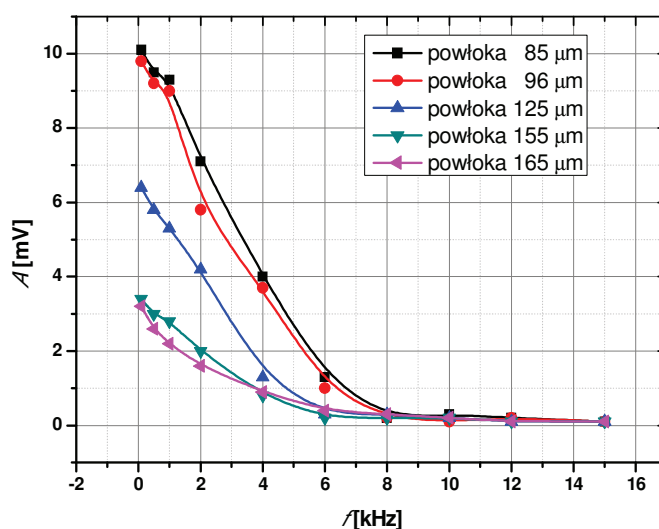
Rys. 1. Przykładowa wielowarstwowa powłoka ochronna zbiornika na paliwo płynne: 1) stalowa ściana zbiornika, 2) warstwa podkładowa, 3) warstwa metalowa ochronna, 4) warstwa uszczelniająca, 5) warstwa elektroprzewodząca [20]

## Pomiary powłok ochronnych

Ze względu na procesy starzenia oraz zmiany korozyjne powłok ochronnych, co pewien czas wymagane są pomiary mające na celu ocenę tych zmian i ewentualne działania zapobiegające dalszej ich degradacji [3,8]. Pomiary takie przeprowadza się najczęściej w miejscu pracy części maszyn i urządzeń czy

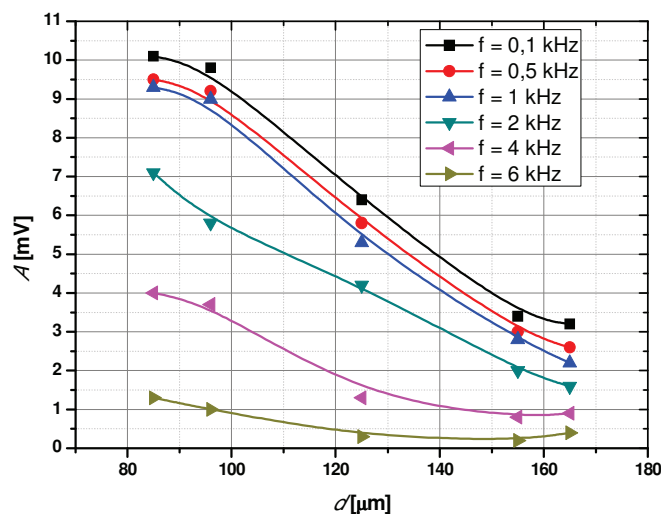
konstrukcji elektroenergetycznych [4, 18]. Z tego względu najczęściej używane są do tego przyrządy i mierniki przenośne, które łatwo zastosować w trudnych warunkach pomiarowych w zmieniających się warunkach środowiskowych. Ponieważ badania tego typu stanowią ważną część koncepcji dotyczącej szeroko rozumianego bezpieczeństwa, to przeprowadzane są również w ramach zajęć dydaktycznych w pomiarach wielkości nieelektrycznych na studiach technicznych o profilu elektrycznym.

Studenci mają do dyspozycji takie same przyrządy wzorcowe, jakie stosuje się w przemyśle i znajdują one zastosowanie do wzorcowania czujników indukcyjnych stosowanych do pomiarów laboratoryjnych na zajęciach dydaktycznych. Do wykonania pomiarów używa się przetwornika indukcyjnego z dołączonym czujnikiem magnetorezystancyjnym jako element odbiorczy. Cewka indukcyjna nawinięta jest na rdzeniu ferromagnetycznym i jest zasilana napięciem sinusoidalnym z generatora funkcyjnego [12, 16]. W celu dostosowania parametrów sygnału pomiarowego do warunków badań, istnieje możliwość zmiany częstotliwości generowanego sygnału sinusoidalnego oraz jego amplitudy [14, 15]. Pomiaru wykonano na pięciu wcześniej przygotowanych próbkach powłok ochronnych znajdujących się na powierzchni blachy stalowej o grubości 1 mm. Powłoki ochronne naniesiono na powierzchni podłoża z blachy stalowej i miały one następujące grubości: 85  $\mu\text{m}$ , 96  $\mu\text{m}$ , 125  $\mu\text{m}$ , 155  $\mu\text{m}$ , 165  $\mu\text{m}$ . Cewkę wytwarzającą sygnał pomiarowy zasilono sygnałem sinusoidalnym o częstotliwościach od 100 Hz do 15 kHz oraz amplitudzie 7 V [19]. Na rysunku 2 przedstawiono wyniki pomiarów amplitudy sygnału pomiarowego za pomocą czujnika magnetorezystancyjnego KMZ-10 produkcji firmy Philips.



Rys. 2. Wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego o zmiennej częstotliwości dla poszczególnych grubości badanych powłok ochronnych

Wartość amplitudy sygnału pomiarowego maleje proporcjonalnie do zwiększania się grubości powłoki ochronnej. Zależność ta występuje w zakresie częstotliwości sygnału pomiarowego od 100 Hz do około 7 kHz. Powyżej tej częstotliwości czujnik nie reaguje już na zmiany grubości powłoki ochronnej, a wartość sygnału pomiarowego ustala się na jednolitym poziomie. Na rysunku 3 pokazano wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego dla wzrastającej grubości badanych powłok ochronnych.



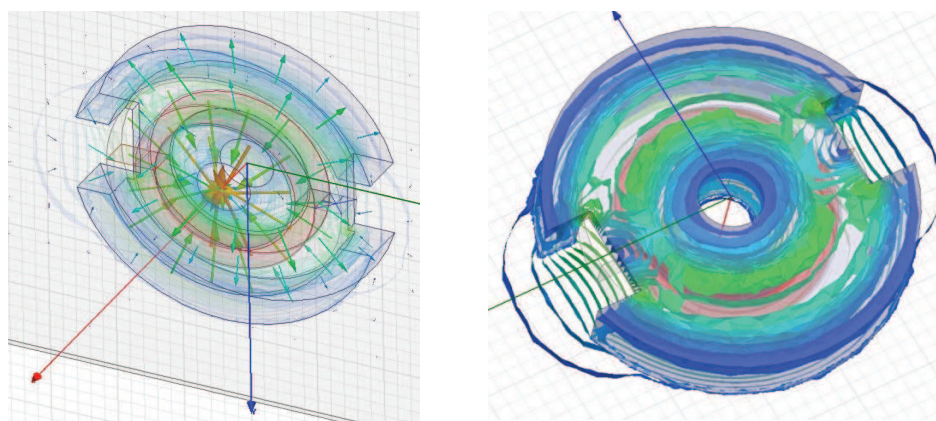
Rys. 3. Wyniki pomiaru amplitudy sygnału pomiarowego o zadanej częstotliwości dla wzrastającej grubości badanych powłok ochronnych

Poszczególne krzywe przedstawiają zmiany wartości amplitudy sygnału sinusoidalnego o określonej stałej częstotliwości wraz ze zmniejszaniem się wartości grubości powłoki ochronnej. Największe zmiany amplitudy notowane są dla częstotliwości sygnału pomiarowego o wartościach: 0,1 kHz, 0,5 kHz oraz 1 kHz. Dla częstotliwości 2 kHz i 4 kHz zmiany te mają już mniejsze wartości, natomiast dla częstotliwości 6 kHz amplituda sygnału zmienia się już w niewielkim stopniu, pomimo zmiany wartości powłoki ochronnej.

Po przeprowadzeniu pomiarów, studenci wykonują sprawozdania, w których należy przedstawić poszczególne elementy procesu badawczego. Na podstawie danych pomiarowych zebranych w trakcie ćwiczeń laboratoryjnych, wykonywane są podobne charakterystyki, jak przedstawione powyżej, które stanowią jeden z elementów analizy i opracowania danych badawczych. Po przeprowadzeniu analizy zebranych informacji formułuje się wnioski, na podstawie których należy podjąć decyzję o zastosowaniu dodatkowych zabezpieczeń badanych elementów powierzchni lub pozostawieniu ich bez zmian w dotychczasowym stanie [12].

Realizacja ćwiczeń podczas zajęć ma formę metody problemowej. Wykonane pomiary techniczne służą nie tylko do wyznaczenia interesujących nas

charakterystyk, ale są również przydatne w dalszych etapach pracy związanych z opracowaniem wirtualnym modelu czujnika i symulacji jego działania [9, 13]. W tym celu wykorzystany został program ANSYS Maxwell [11]. W programie tym zamodelowano czujnik oraz dokonano symulacji jego działania na podstawie danych wejściowych uzyskanych metodą laboratoryjną, a następnie dokonano porównania wyników – rysunek 4. Metoda problemowa na tym etapie prac służy rozwiązywaniu przez studentów autentycznych problemów, wcześniej zdefiniowanych przez prowadzącego zajęcia, poprzez formułowanie hipotez i weryfikowanie ich w toku operacji umysłowych i praktycznych [1]. Głównym celem zastosowania tej metody jest uaktywnienie samego studenta, wzbudzenie w nim przekonania o możliwości rozwiązania przez niego zadania, wdrażania nowych rozwiązań technologicznych. Rola prowadzącego ogranicza się do funkcji kierowniczej i wspomagającej polegającej na takiej organizacji procesu dydaktycznego, aby wzbudzić w nim przekonanie, iż jest ona samodzielnie lub przy pomocy grupy rozwiązać problem [10, 17]. Ponadto metoda symulacyjna stanowi część aktywizującą w pracy poprzez rozwiązanie problemu za pomocą symulacji komputerowych. Podstawowymi założeniami tej metody są: uporządkowanie wiedzy (często z różnych dziedzin), tak aby mogła być wykorzystana w praktyce, nauczanie skutecznego rozumowania, wykształcenie u osób umiejętności uczenia się oraz zwiększanie motywacji do zdobywania dalszej wiedzy [7]. Poprzez odkrywanie czegoś, pobudzone zostają przede wszystkim czynności umysłowe, a proces myślowy przebiega od praktyki do teorii [5, 6]. Jeśli tym działaniom towarzyszą konstruowanie lub wynalezienie - pobudzone zostają działania praktyczne, proces myślowy przebiega od teorii do praktyki.



Rys. 4. Przykład wizualizacji rozchodzenia się wektorów i pola elektromagnetycznego (indukcji B) na styku powierzchni przylegającego czujnika do badanej powierzchni próbki blachy (na podstawie MES)

Problem efektywności kształcenia za pomocą nowoczesnych pomocy dydaktycznych był przedmiotem wielu dotychczasowych badań naukowych. Jest też problemem dość dobrze poznanym, jednak ze względu na dynamiczny rozwój nowych technologii informatycznych towarzyszących kształceniu i wychowaniu nowego pokolenia młodzieży, w zainteresowaniu pedagogów i psychologów wymaga ustawicznej dbałości oraz uwagi zarówno ze względów dydaktycznych, jak i wychowawczych.

## Wnioski

Na podstawie otrzymanych wyników badań można wyprowadzić następujące sformułowania:

- przedstawiona metoda może zostać wykorzystana do oceny zmian korozyjnych warstwy ochronnej za pomocą zmodyfikowanego czujnika indukcyjnego wraz z przetwornikiem magnetorezystancyjnym, metodą bezinwazyjną w powłokę,
- opisany przetwornik indukcyjny może być zastosowany do pomiarów warstw cynkowych znajdujących się pod warstwą lakierniczą i niedostępnych do badania za pomocą innych grubościomierzy,
- zastosowanie metody problemowej w trakcie zajęć laboratoryjnych umożliwia wykorzystanie otrzymanych wyników pomiarowych do zamodelowania czujnika pomiarowego, symulacji jego działania oraz porównania wyników symulacji z rzeczywistym układem pomiarowym.

## Literatura

- [1] Depesova J., Vargova M., Noga H., *Edukacja techniczno informatyczna w opinii nauczycieli*, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków 2008, 149–157.
- [2] Lewińska-Romicka A., *Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001.
- [3] Lewińska-Romicka A., *Badania materiałów metodą prądów wirowych*, Biuro Gamma, Warszawa, 2007.
- [4] Lewińska-Romicka A., *Pomiary grubości powłok*, Biuro Gamma, Warszawa 2001.
- [5] Noga H., *Sociometric methods in technological and information technology education*. [in:] Trends in Education. Olomouc 2009, Information technologies and technical education, Vols.1, s. 165–169.

- [6] Noga H., Piaskowska-Silarska M., Depešová J., Pytel K., Migo P., *Neuro - didactic perspective of creative attitude towards education in the third millennium - examination of individual cases*, [in:] Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), 2014 IEEE 12th International Conference 2014, s. 355–360.
- [7] Noga H., Piaskowska-Silarska M., Depešová J., Pytel K., Migo P., *The Use of Filtration Theory for Performance Optimization of Volume*. Applied Mechanics and Materials. nr 3/2015. s. 616–621.
- [8] Pawłowski Z., *Badania nieniszczące*, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Polskich, Warszawa, 1984.
- [9] Prauzner T., *Zastosowanie programów symulacyjnych w nauczaniu przedmiotów technicznych*, [in:] Prace Naukowe AJD, Edukacja Techniczna i Informatyczna, Częstochowa, 2006, s.121–128.
- [10] Prauzner T., Ptak P., *Rola i miejsce multimedialnych pomocy naukowych w edukacji technicznej*, [in:] Edukacja – Technika – Informatyka, Wydawnictwo Oświatowe FOSHE, 1. wyd., Rzeszów, 2010, s. 34–38.
- [11] Prauzner T., *Finite Element Method in an analysis of selected parameters of an inductive sensor for protective coatings measurements*, *Przegląd Elektrotechniczny*, 91 (2015), nr.12, 205–208.
- [12] Prauzner T., *Zakłócenia elektromagnetyczne w elektronicznych systemach alarmowych*. [in:] *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012, s. 205–208.
- [13] Prauzner T., Ptak P. *Programy symulacyjne w inżynierii bezpieczeństwa*, [in:] Journal of Technology and Information Education, Strategie technického vzdělávání v reflexi doby, Wydawnictwo Palacký University in Olomouc, Czechy 2011, s. 292–296.
- [14] Prauzner T., Ptak P., *Analiza parametrów pracy wybranych czujników pola magnetycznego*, [in:] *Przegląd Elektrotechniczny*, R. 90, nr 12/2014, s.273–276.
- [15] Ptak P., Borowik L., *Dobór częstotliwości i rodzaju sygnału czujnika indukcyjnego na potrzeby pomiaru grubości wielowarstwowych powłok ochronnych*. [in:] *Przegląd Elektrotechniczny*, 2012 nr 12b, s. 245–247.
- [16] Ptak P., Prauzner T., *Badania czujników detekcji zagrożeń w systemach alarmowych*. [in:] *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013 nr 10, s. 274–276.
- [17] Ptak P., Prauzner T., *Zastosowanie programów komputerowych w dydaktyce przedmiotów technicznych*, [in:] Journal of Technology and Information Education, nr 1/2011, s. 300–307.
- [18] Wojas M., *Wady wyrobów wykrywane metodami nieniszczącymi*, Biuro Gamma, Warszawa, 2006.
- [19] Złoto T., Ptak P., Prauzner T., *Analysis of signals from inductive sensors by means of the DasyLab software*. [in:] *Annales UMCS Informatica*, 2012, s. 31–37.
- [20] <http://www.paliwomat.pl/dwuplaszcz.html> (data dostępu: 24.05.2016).