



**Paweł Ptak**

*Politechnika Częstochowska*

*al. Armii Krajowej 17, 42-200 Częstochowa*

*e-mail: p.ptak@o2.pl*

## ZNACZENIE POMIARÓW DEFECTOSKOPOWYCH W ASPEKCIE BEZPIECZEŃSTWA W TRANSPORCIE I PRZEMYSŁE

**Streszczenie:** W artykule opisano badania i pomiary defektoskopowe przeprowadzane w ramach zajęć dydaktycznych ze studentami na kierunku elektrotechnika. Badania tego typu są szeroko stosowane do wykrywania wad materiałowych w środkach transportu publicznego oraz w przemyśle, gdzie występuje zagrożenie wpływu szkodliwych czynników na środowisko naturalne i bezpieczeństwo ludzi.

**Słowa kluczowe:** badania defektoskopowe, wady materiałowe, bezpieczeństwo w transporcie i przemyśle.

## IMPORTANCE OF FLAW DETECTION MEASUREMENT FOR SAFETY ASPECTS OF TRANSPORT AND INDUSTRY

**Abstract:** Article describes tests and measurements conducted within defectoscopic didactic classes with students majoring in Electrical Engineering. Studies of this type are widely used to detect material defects in public transport and in industry where there is a risk of harmful factors impact on natural environment and human security.

**Keywords:** flaw detection testing, defects in materials, safety in transport and industry

### Wstęp

Metody badań defektoskopii służą do wykrywania wad materiałowych, nie powodując zmian w ich właściwościach. Stosowane są w przemyśle w celu osiągnięcia wysokiej jakości wyrobów końcowych, konstrukcji bądź urządzeń. Dotyczy to głównie przemysłu lotniczego, raketowego, maszynowego, samo-

chodowego, zbrojeniowego, petrochemicznego (m.in. gazociągów i rurociągów) [5], chemicznego, energetyki konwencjonalnej, jądrowej oraz w budownictwie kolejowym, drogowym (mosty i tunele) oraz lotniczym.

Badaniom podlegają przede wszystkim złącza spawane, połączenia klejone, lutowane oraz zgrzewane. Mogą to być warstwy wierzchnie oraz podpowierzchniowe, w zależności od zastosowanej metody. Brak wykonywania takich badań może prowadzić do awarii, a w konsekwencji może być przyczyną wypadków i katastrof. Znanych jest wiele katastrof m.in. w przemyśle lotniczym. Wiele z nich było spowodowanych zmęczeniem materiału oraz powstaniem nieciągłości, które przyczyniły się do zniszczenia określonych elementów konstrukcyjnych. Obecnie metodami defektoskopii można wykryć wady materiału, zarówno te zmęczeniowe, jak i wynikające z eksploatacji danego urządzenia czy budowli [4, 6, 12]. Przykłady badań defektoskopowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Badania defektoskopowe elementów rurociągu

Istnieje wiele metod badań stosowanych w defektoskopii. Są nimi: badania wizualne, metoda penetracyjna, radiologiczna, ultradźwiękowa, magnetyczna, spadku potencjału, prądów wirowych oraz termografii podczerwieni. Praktycznie każda z metod wymaga wykwalifikowanego personelu. Personel musi znać zasadę prowadzenia badań określoną metodą, potrafić odpowiednio interpretować wyniki oraz znać właściwości badanych materiałów. Nie ma obecnie personelu mającego kwalifikacje na wszystkie metody defektoskopii, gdyż jest to dziedzina silnie rozwijająca się i już obecnie jest na tyle szeroka, że najczęściej personel jest wykwalifikowany do prowadzenia badań jedną lub ewentualnie dwoma metodami [6, 20]. Duże doświadczenie od personelu jest wymagane szczególnie do oceny wyników badań metodą ultradźwiękową, radiologiczną oraz prądów wirowych (rysunek 2).



Rys. 2. Badania defektoskopowe w transporcie lotniczym

Przed zastosowaniem metody ultradźwiękowej oraz radiologicznej należy zgodnie z wymogiem przeprowadzić najpierw badania wizualne. Związane jest to z wysokim kosztem przeprowadzenia badań ultradźwiękowych i z jeszcze droższymi badaniami radiologicznymi. Możliwa jest sytuacja, w której metodą badań wizualnych wykryje się nieciągłość i spowoduje to, iż badania pozostałe będą niepotrzebne. Ponadto zastosowanie więcej niż jednej metody powoduje zwiększenie niezawodności wyników badań oraz potwierdzenie występowania uszkodzeń. Przykładem łączenia badań mogą być badania wizualne przy pomocy endoskopów oraz metody prądów wirowych. W endoskopowych sondach może znajdować się przetwornik wiropądowy [6, 12, 20].

Poszczególne metody badań przydatne są do kontrolowania obiektów określonych rodzajów, wykonanych z różnych materiałów, do wykrywania z dużą czułością – w zależności od określonych nieciągłości. Nie ma uniwersalnej metody. Ideą wszystkich metod jest ich wzajemne stosowanie i uzupełnianie oraz odpowiedni dobór metod przez wykwalifikowany personel. Prowadzenie badań w defektoskopii polega na:

- doborze jednej lub więcej metod badań,
- doborze aparatury i środków potrzebnych do badań [2, 3],
- przeprowadzeniu badań przez odpowiednio wykwalifikowany personel,
- ocenie i interpretacji wyników,
- wykonaniu protokołu badań [6, 7].

## Metody badań defektoskopowych

Wśród elektrycznych metod defektoskopowych na szczególną uwagę zasługują metody wiropądowe i elektromagnetyczne. W metodach tych można wykorzystać nieskomplikowaną aparaturę, a wyniki badań są dość dokładne. Łatwość stosowania tych metod stanowi ich kolejną zaletę.

Metoda prądów wirowych znalazła zastosowanie w badaniach defektoskopowych, w badaniach własności materiałów oraz w pomiarach grubości powłok, taśm i folii. W badaniach defektoskopowych wykorzystuje się ją do wykrywania nieciągłości materiałów różnych obiektów zarówno w procesach eksploatacji, jak i procesach wytwarzania.

Metodą prądów wirowych można kontrolować tylko te objekty, które przewodzą prąd elektryczny. Pomiar taką metodą polega na umieszczeniu badanego obiektu w obszarze oddziaływania pola magnetycznego (zmiennego w czasie) wytwarzanego przez przetworniki indukcyjnościowe [10, 11]. Następnie przetwarza się sygnały tych przetworników, których faza oraz amplituda posiadają informację o występowaniu niedoskonałości obiektów bądź zmian struktury obiektów [8, 21].

Metoda prądów wirowych pozwala na wykrycie nieciągłości powierzchniowych oraz tych leżących blisko pod powierzchnią. Dokładność: metodą prądów wirowych wykrywa się pęknięcia o głębokości od 0,1 mm, szerokości od ok. 0,0005 mm oraz długości od 0,4 mm.

Ponadto omawiana metoda umożliwia wykrywanie wad, które znajdują się pod warstwą malarskiego pokrycia bądź galwanicznego i niedoskonałości będących w poszczególnych warstwach wielowarstwowych obiektów. Można również dokonać pomiaru głębokości nieciągłości obiektów [9, 21].

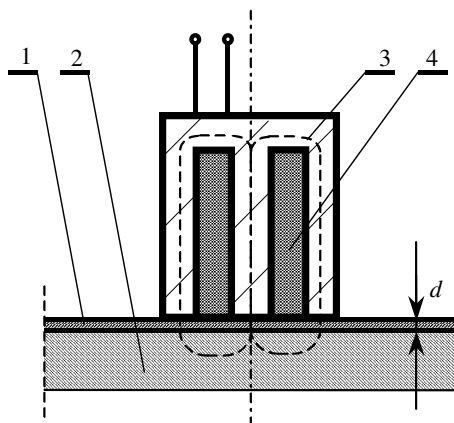
W procesach eksploatacji wykorzystuje się defektoskopy wiroprądowe, które zasilane są sygnałami impulsowymi oraz sinusoidalnymi. W przypadku zasilania przetworników używa się generatorów wieloczęstotliwościowych. Zastosowanie urządzeń wiroprądowych to kontrola obiektów w energetyce, dotyczy to siłowni jądrowych oraz konwencjonalnych, hutnictwie, lotnictwie i transporcie samochodowym i kolejowym (rysunek 3).



Rys. 3. Badanie defektoskopowe szyn w transporcie kolejowym

Elementy kontrolowane w procesach wytwarzania to m.in.: druty, pręty oraz rury, szyny kolejowe, części samolotów i otwory w obiektach, części samochodowe, np. cylindry, tarcze hamulcowe, bębny, półosie i grzybki zaworów, złącza spawane. W procesach eksploatacji badane są m.in.: wały wirników generatorów, skraplacze pary, elementy silników lotniczych np. łopatki turbin, obręcze kół samolotów, poszycia samolotów, złącza spawane [9, 21].

Przetworniki elektromagnetyczne są wykorzystywane w przypadku badań defektoskopowych elementów z materiałów ferromagnetycznych. Przetwornik taki zbudowany jest z dwóch uzwojeń (rys. 4) na wspólnym rdzeniu ferromagnetycznym, stanowiąc transformator prądowy o otwartym obwodzie magnetycznym. Jest on zasilany zmiennym sygnałem o częstotliwości od kilkuset do kilkunastu tysięcy Hz, wytwarzanym przez prąd płynący w uzwojeniu pierwotnym zasilanym z regulowanego i stabilizowanego generatora sinusoidalnego. Obwód magnetyczny przetwornika stanowi badany element. Napięcie wyjściowe przetwornika indukcyjnego zależy od istnienia niejednorodnej struktury lub wady materiałowej wewnątrz badanego elementu lub jej braku w prawidłowej strukturze wewnętrznej badanego elementu. Na rysunku 4 przedstawiono schematycznie budowę przetwornika elektromagnetycznego [1].



Rys. 4. Budowa przetwornika elektromagnetycznego: 1 – powierzchnia badanego elementu, 2 – miejsce występowania wad materiałowych, 3 – droga strumienia magnetycznego, 4 – uzwojenie cewki

## Badania laboratoryjne w zakresie defektoskopii

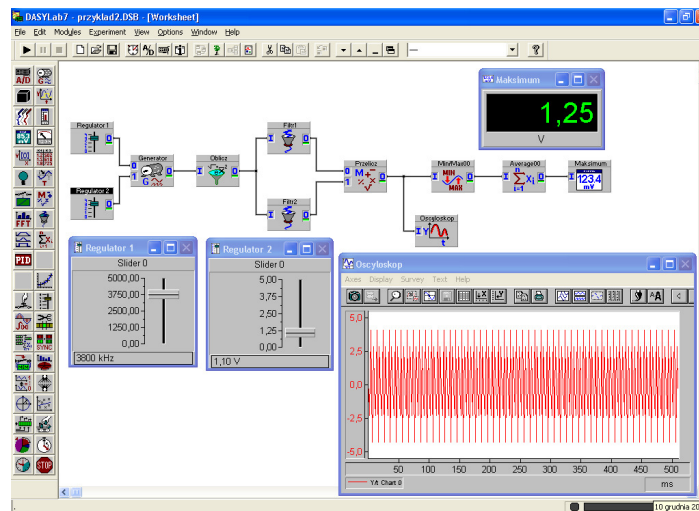
Klasyczna pracownia czy laboratorium do nauki elektrotechniki i elektroniki składa się z kilku stanowisk, na których przeprowadzane są przygotowane wcześniej ćwiczenia. Ćwiczenia te polegają na łączeniu kilku przyrządów pomiarowych i wykonaniu pomiarów dla tak wykonanego układu. Zadaniem

studentów jest odpowiedni dobór przyrządów pomiarowych oraz ich wzajemne połączenia według opisanego w instrukcji przebiegu ćwiczenia.

Ze względu na szybki rozwój technik komputerowych możliwe jest zastosowanie w nauczaniu odpowiednich programów mających na celu dwa podstawowe zadania:

- symulacja działania układów elektrycznych lub elektronicznych w programie komputerowym niezależnie od części sprzętowej i połączenia z klasycznym przyrządem pomiarowym,
- sterowanie klasyczną aparaturą pomiarową przy pomocy programu komputerowego. Zarejestrowane wyniki pomiarów można poddać dalszej obróbce lub przedstawić je w dowolnej formie graficznej.

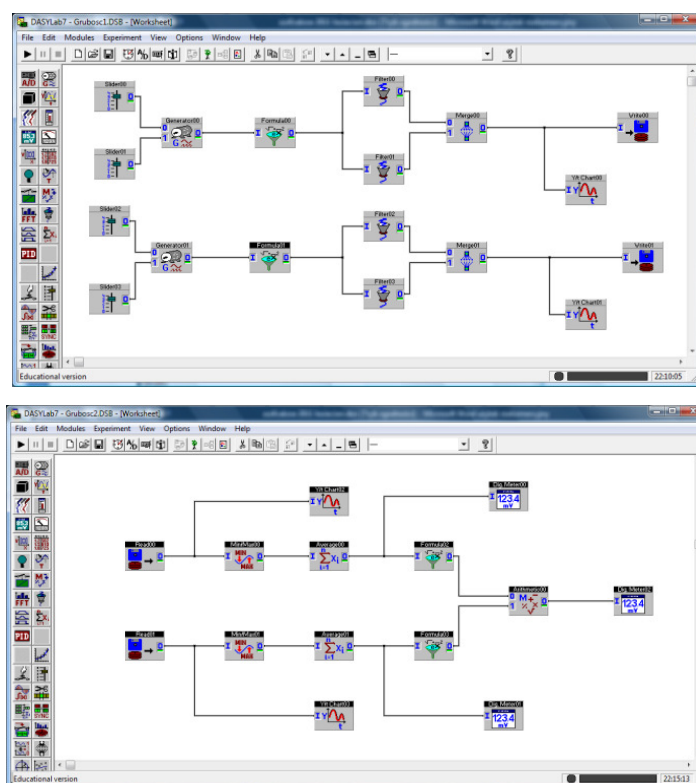
System DasyLab pozwala użytkownikowi rozwiązywać w kompleksowy sposób zagadnienia związane ze zbiorem danych i ich analizą. Innowacją jest niezwykła prostota w posługiwaniu się programem, polegająca na konstruowaniu scenariusza analiz za pomocą ikon. Połączone ikony symbolizują sposób przepływu danych i ich analizę, tworząc tzw. arkusz przepływu danych pokazany na rysunku 5 [16].



Rys. 5. Układ pomiarowy zamodelowany w programie DasyLab

Przedstawiony układ można wykorzystać także w nauczaniu przedmiotów technicznych. Znaczna popularność pakietów programowych pozwala na zwiększenie zainteresowania studentów na temat kształcenia technicznego. Umożliwia to wykorzystanie takich lub podobnych programów przez studentów do symulacji procesów pomiarowych w laboratorium dydaktycznym wyższej uczelni [13, 14, 15,23].

Na rysunku 6 przedstawiono schemat analizy danych pomiarowych z czujnika wiroprowadowego oraz elektromagnetycznego dla ćwiczenia laboratoryjnego dotyczącego pomiarów defektoskopowych, realizowanego w ramach zajęć z pomiarów wielkości nieelektrycznych na Politechnice Częstochowskiej [17, 22].



Rys. 6. Schematy układów rejestracji i analizy sygnału w pomiarach defektoskopowych

Aby efekty kształcenia były jak najlepsze, istotna jest praca własna studenta. Ma ona dotyczyć głównie przygotowania i opracowywania materiałów, wiedzy i umiejętności do zajęć praktycznych laboratoryjnych oraz projektowych wykonywanych pod opieką prowadzącego. Programy symulacyjne, takie jak DasyLab czy Multisim, umożliwiają realizację przygotowania studenta do zajęć laboratoryjnych poprzez wcześniejsze poznanie budowy i analizę układów pomiarowych wykorzystywanych później w praktycznych zajęciach laboratoryjnych [18, 19]. Zapoznanie się z przykładowymi układami do realizacji pomiarów grubości warstw wierzchnich jest zachętą do samodzielnej pracy studenta przy wykorzystaniu nowoczesnych środków interaktywnego przekazu.

## Wnioski

1. W defektoskopii warstw wierzchnich najistotniejsze jest jak najwcześniejsze wykrycie defektów występujących na danym obiekcie. Nie ma metody uniwersalnej, która zapewniłaby detekcję wad we wszystkich obiektach.
2. Niektóre z metod nadają się do badania tylko tych materiałów, które przewodzą prąd elektryczny, np. metoda prądów wirowych. Każda z metod ma określoną dokładność, tj. minimalną wartość parametrów wad, jakie są w stanie wykryć.
3. Podczas projektowania systemów badań kompleksowych, istotny jest odpowiedni dobór metod, które wzajemnie będą się uzupełniały. Systemy te są systemami specjalistycznymi, które wykonuje się do badania określonej klasy obiektów. Ich celem jest detekcja nieciągłości powierzchniowych, wewnętrznych, określanie właściwości materiałów oraz wykrywanie nieciągłości geometrycznych.
4. Przy określaniu możliwości metod defektoskopii oraz ich przydatności do kontroli obiektów ważne jest, aby określić najmniejszą nieciągłość, jaka może być wykryta, oraz największą nieciągłość, która może pozostać niezauważona.
5. Zastosowanie wyspecjalizowanych pakietów programowych oraz symulacji pozwala zbadać poprawność działania i efektywność układów pomiarowych bez dostępu do rzeczywistych sygnałów. Możliwe jest więc lepsze zapoznanie się studentów z pakietami programowymi w ramach przygotowania się do zajęć laboratoryjnych.
6. Ciekawa i potrzebna tematyka badań defektoskopowych zachęca studentów do pracy własnej i rozszerzania wiedzy w zakresie tematyki zajęć laboratoryjnych, przy wykorzystaniu nowoczesnych środków interaktywnego przekazu.

## Literatura

- [1] Borowik L., Janiczek R., Ptak P., Pomiary grubości powłok w diagnostyce powierzchni, [in:] *Pomiary Automatyka Kontrola*, nr 06. 2010, s. 644-647. ISSN:0032-4140
- [2] Borowik L., Czaja P., Skuteczność wyłączników różnicowoprądowych jako środka ochrony przeciwporażeniowej, [in:] *Przegląd Elektrotechniczny*, 2013, nr 12, str. 306-309
- [3] Czaja P., Jąderko A., Wpływ prądów upływu w przewodach ochronnych przekształtników z falownikiem PWM na działanie zabezpieczeń prze-



- ciwporażeniowych RCD, [in:] Przegląd Elektrotechniczny, 2013, nr 12, str. 203-206
- [4] Jakubiec B., Model elektrycznego układu napędowego małego systemu mobilnego, [in:] Przegląd Elektrotechniczny, 12/2013, str. 173
- [5] Krzywanski J., Rajczyk R., Bednarek M., Wesolowska M., Nowak W., Gas emissions from a large scale circulating fluidized bed boilers burning lignite and biomass, [in:] Fuel Processing Technology 116 (2013) 27–34., DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fuproc.2013.04.021>
- [6] Lewińska-Romicka, A., Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001. ISBN 83-204-2641-3
- [7] Lewińska-Romicka, A., Badania magnetyczne. Podręcznik, Tom I, Warszawa, Biuro Gamma, Warszawa, 1998. ISBN 83-87848-02-6
- [8] Lewińska-Romicka, A., Badania magnetyczne. Podręcznik, Tom II, Biuro Gamma, Warszawa, 1998. ISBN 83-87848-03-4
- [9] Lewińska-Romicka, A., Badania materiałów metodą prądów wirowych, Biuro Gamma, Warszawa, 2007. ISBN 8387848581
- [10] Olesiak K., Application of the Fuzzy Controller in the Speed Control System of an Induction Motor, [in:] Przegląd Elektrotechniczny, R.89 nr 12, 2013, s.336-339
- [11] Olesiak K., Selected Problems of the Asynchronous Drive Control with the Three-phase Soft-start System, [in:] Solid State Phenomena, Vol. 210, 2014, pp. 245-251., DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP.210.245>
- [12] Pawłowski Z., Badania nieniszczące, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Polskich, Warszawa, 1984. ISBN 8300009345
- [13] Prauzner T., Zastosowanie programów symulacyjnych w nauczaniu przedmiotów technicznych, [in:] Prace Naukowe AJD, Edukacja Techniczna i Informatyczna, Częstochowa, 2006, s.121-128. ISBN 83-7098-966-7, ISSN 1897-4058
- [14] 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; ISSN 2080-9069. ISBN 978-83-7586-043-6.
- [15] 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, ISSN 1803-537X (print)
- [16] Ptak P., Prauzner T., Wykorzystanie pakietu DasyLab w nauczaniu podstaw elektroniki, [in:] Edukacja. Studia, Badania, Innowacje, nr 02.2010, s. 159-164. ISSN:0239-6858

- [17] Ptak P., Metodyka analizy sygnałów w pomiarach grubości warstw wierzchnich, [in:] Śląskie Wiadomości Elektryczne R.18 nr 4 (97) 2011, s.44-46. ISSN:1506-5758.
- [18] Ptak P., Zastosowanie pakietów programowych DasyLab i LabView w dydaktyce przedmiotów technicznych, [in:] Technika a vzdelávanie, Banská Bystrica, 2013 nr 2, s. 79-81. ISSN 1338-9742
- [19] Ptak P., Prauzner T., Zastosowanie programów komputerowych w dydaktyce przedmiotów technicznych, [in:] Journal of Technology and Information Education, nr 1/2011, s. 300-307. ISSN 1803-537X (print), ISSN 1803-6805 (on-line)
- [20] Śliwiński A., Ultradźwięki i ich zastosowania, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 2001. ISBN 978-83-2042-567-3
- [21] Wojas M., Wady wyrobów wykrywane metodami nieniszczącymi, Biuro Gamma, Warszawa, 2006. ISBN 8387848514
- [22] 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. ISSN:1732-1360
- [23] Noga H., Metody socjometryczne w edukacji techniczno – informatycznej, Trendy ve vzdelávání 2009, Informační technologie a technické vzdelávání, Olomouc 2009.