



polytechnica
stetিনensis



Ryszard Sikora

honoris causa
doctoris

stetinae 2008

uroczystość
nadania tytułu
doktora honoris causa
politechniki szczecińskiej

Ryszardowi Sikorze

SZCZECIN, 21 kwietnia 2008 roku

Opracowanie językowe
Katarzyna Mitan

Projekt okładki i tytułów
Kinga Węlyczko-Czachura

@ Politechnika Szczecińska, Szczecin 2008

ISBN 978-83-7457-047-3

Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej
al. Piastów 50, 70-311 Szczecin, tel. 091 449 47 60, e-mail: wydawnictwo@ps.pl

Opracowanie graficzne, łamanie, druk i oprawa:
PPH Zapół Dmochowski, Sobczyk Spółka Jawna
al. Piastów 42, 71-062 Szczecin, tel. 091 435 19 30, e-mail: zarzad@zapol.com.pl

spis treści

Słowo wstępne	
Rektora prof. dr. hab. inż. Włodzimierza Kiernożyckiego	5
Uchwała Senatu Politechniki Szczecińskiej	6
Laudacja promotora	
prof. dr. hab. inż. Jana Purczyńskiego	7
Wykład doktora honorowego prof. dr. inż. Ryszarda Sikory	
pt. „Badania nieniszczące”	13
Recenzja prof. dr. hab. inż. Kazimierza Jakubiuka	39
Recenzja prof. dr. hab. inż. Stanisława Wincenciaka	43
Recenzja prof. dr. hab. inż. Kazimierza Zakrzewskiego	47

słowo wstępne rektora

prof. dr. hab. inż.

Włodzimierza Kiernożyckiego

Postęp we wszystkich obszarach życia społecznego tworzą ludzie wybitni, obdarzeni niezwykłymi talentami i przymiotami charakteru. Tak dzieje się również w życiu społeczności akademickiej. Do powstania szkół naukowych i rozwoju poszczególnych dziedzin wiedzy przyczyniają się liderzy, oddani sprawie nauki, umiejący skupić wokół siebie grono zaangażowanych współpracowników dążących do wspólnego celu. Miarą sukcesu naukowego jest uznanie osiągnięć w skali krajowej, jak i międzynarodowej. Oprócz wyróżnień w postaci odznaczeń i nagród tradycja akademicka ustanowiła szczególny sposób honorowania takich osób. Nadanie im godności doktora honoris causa jest wyrazem naszego szacunku i podziękowania. Podziękowania przede wszystkim za pracę, trud włożony w tworzenie postępu oraz kreślenie wzorców zachowań.

Politechnika Szczecińska, jako uczelnia akademicka, nadaje dziś kolejny, dwudziesty w swej historii doktorat honoris causa wybitnemu uczonemu, promotorowi kadr naukowych oraz inicjatorowi wielu przedsięwzięć naukowych i organizacyjnych Profesorowi Ryszardowi Sikorze. Profesor jest twórcą szczecińskiej szkoły naukowej elektrotechniki teoretycznej. Związany całym swym życiem zawodowym z naszą uczelnią, przez wiele lat budował jej prestiż i pozycję naukową zarówno w kraju, jak i za granicą. Wniósł niekwestionowany wkład w rozwój Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej oraz całej uczelni.

Wniosek Senatu Akademickiego Politechniki Szczecińskiej o nadanie godności i tytułu doktora honoris causa Profesorowi Ryszardowi Sikorze poparły senaty politechnik: Gdańskiej, Łódzkiej oraz Warszawskiej.

Cieszymy się, że Pańska postawa pracownika naukowego, wychowawcy wielu pokoleń młodzieży i kadry naukowej, prowadząca do wielu wspaniałych osiągnięć, została tak godnie uhonorowana.



uchwała senatu politechniki szczecińskiej

POLITECHNIKA
SZCZECIŃSKA



Uchwała nr 2 Senatu Politechniki Szczecińskiej z dnia 28 stycznia 2008 r.

**w sprawie nadania tytułu doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej
profesorowi zwyczajnemu doktorowi inżynierowi Ryszardowi Sikorze**

Na podstawie opinii Senatów: Politechniki Gdańskiej, Politechniki Łódzkiej i Politechniki Warszawskiej, popierających wnioszek Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej o nadanie tytułu doktora honoris causa Uczelni, Senat Politechniki Szczecińskiej na posiedzeniu w dniu 28 stycznia 2008 r. podjął uchwałę następującej treści:

**Senat Politechniki Szczecińskiej nadaje tytuł
doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej
profesorowi zwyczajnemu doktorowi inżynierowi
Ryszardowi Sikorze**

Rektor Politechniki Szczecińskiej

prof. dr hab. inż. Włodzimierz Kiernożycki

laudacja

prof. dr hab. inż. Jan Purczyński

politechnika szczecińska

Magnificencjo Rektorze!

Wysoki Senacie!

Szanowny Doktorze Honorowy!

Szanowni Państwo!

Jestem wielce zaszczycony zadaniem przedstawienia laudacji wybitnego uczonego Profesora Ryszarda Sikory, osoby o niekwestionowanym autorytecie krajowym i międzynarodowym.

Całe dojrzałe życie Profesora Ryszarda Sikory jest związane ze Szczecinem. Tutaj w 1950 roku w Państwowej Szkole Technicznej uzyskał świadectwo dojrzałości i dyplom technika elektryka. Następnie w 1954 roku, po ukończeniu Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie otrzymał dyplom inżyniera elektryka. Edukację kontynuował na Politechnice Śląskiej w Gliwicach i tam też w 1956 roku uzyskał dyplom magistra inżyniera elektryka. Pracę zawodową Profesor rozpoczął w Biurze Projektów „Elektroprojekt” w Szczecinie, gdzie kierując w latach 1955–1962 Zespołem Projektowym, zdobywał doświadczenie praktyczne, które potem wykorzystywał w pracy badawczej.

Szczęśliwie, jak się później okazało, dla Wydziału Elektrycznego Profesor Ryszard Sikora podjął w 1957 roku pracę naukową na Politechnice Szczecińskiej. W 1967 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych w zakresie elektrotechniki na Politechnice Gdańskiej, w 1976 roku został profesorem nadzwyczajnym, a w 1986 roku profesorem zwyczajnym. W tym okresie pełnił różne funkcje kierownicze w strukturach organizacyjnych Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej. Od 1990 do 2002 roku Profesor był kierownikiem utworzonej na jego wniosek Katedry Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki, gdzie nadal pracuje.

Profesor Ryszard Sikora jest twórcą szczecińskiej szkoły naukowej elektrotechniki teoretycznej, znanej w kraju i na świecie. Wniósł wielki wkład w rozwój badań dotyczących analizy i syntezy pól elektromagnetycznych. Jest uznanym autorytetem w dziedzinie elektromagnetycznych badań nieniszczących.

Profesor był promotorem szesnastu doktoratów oraz autorem licznych recenzji rozpraw doktorskich, habilitacyjnych i wniosków profesorskich. Piętnastu wychowanków Profesora uzyskało stopnie doktora habilitowanego, a ośmiu – tytuły profesorskie.

Dorobek naukowy Profesora obejmuje ponad 300 artykułów w uznanych czasopismach krajowych i międzynarodowych oraz w materiałach światowych kongresów i konferencji. Profesor Ryszard Sikora jest autorem podręcznika akademickiego „Teoria pola elektromagnetycznego”, wznawianego dwukrotnie (WNT), współautorem książki „Computational Magnetics” (London, Chapman and Hall 1995), autorem pracy „Elektromagnetyczne metody testowania materii” oraz skryptów wydanych na Politechnice Szczecińskiej. Jest też redaktorem dwóch monografii naukowych.

Profesor Ryszard Sikora wykładał i wykłada przedmioty wchodzące w zakres elektrotechniki teoretycznej oraz przedmioty z nią związane: fizyczne i matematyczne podstawy elektrotechniki, teorię obwodów, teorię pola elektromagnetycznego, teleinformatykę, technologie internetowe, nieniszczące metody badania struktur technicznych i biologicznych oraz kompatybilność elektromagnetyczną. Profesor Ryszard Sikora prowadził też wykłady dotyczące metod obliczania rozkładów pól elektromagnetycznych, defektoskopii wiroprądowej i bioelektromagnetyzmu na wielu uniwersytetach we Włoszech, w Japonii, Niemczech, Kanadzie, Grecji, ZSRR i Bułgarii.

Profesor Ryszard Sikora jest od wielu kadencji członkiem Komitetu Elektrotechniki PAN, wchodzi w skład rad redakcyjnych „Archives of Electrical Engineering” i „Przeglądu Elektrotechnicznego”, zasiada w wielu komitetach naukowych krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych, przewodniczy cyklicznej konferencji o nazwie International Symposium on Theoretical Electrical Engineering (ISTET). Profesor jest członkiem założycielem i członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej. Należy do Stowarzyszenia Elektryków Polskich (od 1956 roku), jest członkiem założycielem i członkiem Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu oraz członkiem założycielem International Compumag Society.

Profesor Ryszard Sikora kierował i kieruje wieloma formalnymi i nieformalnymi krajowymi, a także międzynarodowymi zespołami badawczymi. Wchodzi w skład Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki w Warszawie. W 1999 roku został członkiem World Federation of Nondestructive Evaluation z siedzibą w Iowa State University w USA.

Szczęśliwym zbiegiem okoliczności w 1962 roku Profesor związał się na stałe z Wydziałem Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej. W celu wyjaśnienia mojej myśli, pozwolę sobie zacytować fragment recenzji prof. dr. hab. inż. Kazimierza Jakubiuka: „Wkład Profesora Ryszarda Sikory w rozwój Politechniki Szczecińskiej, a zwłaszcza Wydziału Elektrycznego, jest bardzo duży. Utworzenie przez Profesora licznej szczecińskiej szkoły naukowej elektrotechniki przyczyniło się do znacznego zwiększenia liczby wysoko kwalifikowanej kadry naukowo-dydaktycznej Wydziału Elektrycznego. Bardzo duży dorobek naukowy tej szkoły, zarówno publikacyjny, jak i badawczy, w sposób istotny polepszył pozycję naukową i dydaktyczną i zwiększył prestiż Wydziału Elektrycznego zarówno w kraju, jak

i na arenie międzynarodowej. Znalazło to bezpośrednie przełożenie na uzyskanie pełnych uprawnień akademickich Wydziału Elektrycznego, jak również na osiągnięcie wysokiej pozycji w kategoryzacji jednostek naukowych. Jest to więc wymierny i niekwestionowany wkład Profesora Ryszarda Sikory w rozwój Politechniki Szczecińskiej”.

Uzupełniając powyższy cytat, należy zauważyć, że obecnie na Wydziale Elektrycznym PS są zatrudnione trzy osoby z tytułem profesora oraz pięć osób ze stopniem doktora habilitowanego, które wywodzą się z wymienionej szczecińskiej szkoły naukowej. Nieskromnie mogę się pochwalić, że byłem pierwszym uczniem tej szkoły – w 1966 roku obroniłem pracę magisterską, której promotorem był Profesor Ryszard Sikora.

Profesor za działalność naukową i dydaktyczną wielokrotnie otrzymywał nagrody Ministra Edukacji, Sekretarza PAN oraz JM Rektora Politechniki Szczecińskiej. W 1999 roku został odznaczony Srebrnym Medalem Alessandro Volty, przyznany przez międzynarodową społeczność naukową podczas International Symposium on Electromagnetic Fields in Electrical Engineering (ISEF). W roku 2007 otrzymał prestiżową nagrodę za osiągnięcia naukowe od Japanese Society of Applied Electromagnetics and Mechanics (JSAEM). Ma wiele odznaczeń lokalnych i państwowych, wśród których najwyższym jest Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski.

Słuchając tekstu laudacji, Szanowni Państwo mogliby pomyśleć, że występuję tutaj jako *laudator temporis acti* (Horacy „O sztuce poetyckiej”), tzn. gloryfikatora czasów minionych. Otóż nic bardziej błędnego. Już w niedługim czasie można będzie wygłosić kolejną mowę pochwalną, jako że Profesor Ryszard Sikora wykazuje wielką aktywność w działalności naukowo-badawczej, czego przykładem jest projekt realizowany w ramach programów badawczych Unii Europejskiej 6th Framework Programme. Projekt ten, dotyczący rozwoju techniki cyfrowej radiografii i algorytmów automatycznego rozpoznawania defektów, realizuje konsorcjum tworzone przez trzydzieści trzy czołowe ośrodki badawcze z całej Europy, w tym Politechnikę Szczecińską.

Dzięki takim cechom osobowości, jak wytrwałość i konsekwencja w osiągnięciu postawionego ponad czterdzieści lat temu celu utworzenia liczącego się ośrodka naukowego, Profesor Ryszard Sikora wniósł ogromny wkład w rozwój Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej.



NOMINE REI PUBLICAE POLONORUM
RECTOR ET SENATUS POLYTECHNICAE STETINENSIS
LEGIBUS CONSTITUTUS PROFESSOR, QUI DOCTOREM CREAT
AC RENUNTIAT
COMPROBANTIBUS SENATIBUS
POLYTECHNICAE GEDANENSIS
POLYTECHNICAE LODZIENSIS
ET
POLYTECHNICAE VARSOVIENSIS

PROFESSOREM ORDINARIUM DOCTOREM INGENIARIUM

RICHARDUM SIKORA

ILLUSTREM VIRUM STUDIOSUM ELECTROTECHNICAE ARTIS THEORETICAE, IN VI ELECTROMAGNETICA ATQUE IN
NON VEXANTIBUS EXPLORATIONIBUS ELECTROMAGNETICIS PRUDENTEM,
NOVARUM RATIONUM ET METHODORUM EXPLORANDI INCITATOREM CREATOREMQUE,
SOCIUM MULTARUM INTERNATIONALIUM ET DOMESTICARUM SOCIETATUM COSILIORUMQUE,
QUAE IN SCIENTIBUS VERSANTUR

AD AESTIMANDUM

MAGNA EIUS MERITA IN PROGRESSU SCIENTIAE ET IN INSTITUTIONE MULTARUM MAGISTRORUM,
INGENIARIORUM, DOCTORUM, DOCTORUM HABILITATORUM ET PROFESSORUM GENTIUM

INSIGNI DIGNITATE

DOCTORIS HONORIS CAUSA

ET PRIVILEGIIS AD ILLAM DIGNITATEM SPECTANTIBUS
ORNAVIMUS.

AD DEMONSTRANDUM ILLIUS FACTI CREDIBILITATEM ID DIPLOMA SIGILLO
POLYTECHNICAE STETINENSIS CONSIGNATUM EDIDIMUS.

STETINI, DIE VICESIMO PRIMO MENSIS APRILIS, ANNO MMVIII

RECTOR

WLADIMIRUS KIERNOŻYCKI

DECANUS

PROFESSOR, QUI DOCTOREM
CREAT ET RENUNTIAT

ANDREAS BRYKALSKI

JOANNES PURCZYŃSKI



W IMIENIU RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ
REKTOR I SENAT POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ
ORAZ PROMOTOR PRAWNIE USTANOWIONY
ZA WSPÓLNĄ ZGODĄ SENATÓW
POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ
POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
ORAZ
POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ

NADALIŚMY
PROFESOROWI ZWYCZAJNEMU DOKTOROWI INŻYNIEROWI

RYSZARDOWI SIKORZE

WYBITNEMU UCZONEMU W DZIEDZINIE ELEKTROTECHNIKI TEORETYCZNEJ, BIOELEKTROMAGNETYZMU
I ELEKTROMAGNETYCZNYCH BADAŃ NIENISZCZĄCYCH, INSPIRATOROWI I TWÓRCY NOWYCH KIERUNKÓW
I METOD BADAWCZYCH, CZŁONKOWI WIELU MIĘDZYNARODOWYCH I KRAJOWYCH ORGANIZACJI I RAD NAUKOWYCH

W UZNANIU

JEGO WIELKIEGO WKŁADU W ROZWÓJ NAUKI I KSZTAŁCENIE LICZNYCH POKOLEŃ MAGISTRÓW, INŻYNIERÓW,
DOKTORÓW, DOKTORÓW HABILITOWANYCH I PROFESORÓW

ZASZCZYTNY TYTUŁ

DOKTORA HONORIS CAUSA

ORAZ PRAWA I PRZYWILEJE Z NIM ZWIĄZANE

I W DOWÓD WIARYGODNOŚCI TEGO WYDARZENIA NINIEJSZY DYPLÓM
OPATRZONY W PIECZĘĆ POLITECHNIKI SZCZECIŃSKIEJ WYSTAWILIŚMY

SZCZECIN, DNIA 21 KWIETNIA 2008 ROKU

REKTOR

WŁODZIMIERZ KIERNOŻYCKI

DZIEKAN

PROMOTOR

ANDRZEJ BRYKALSKI

JAN PURCZYŃSKI

wykład doktora honorowego prof. dr. inż. Ryszarda Sikory

Badania nieniszczące

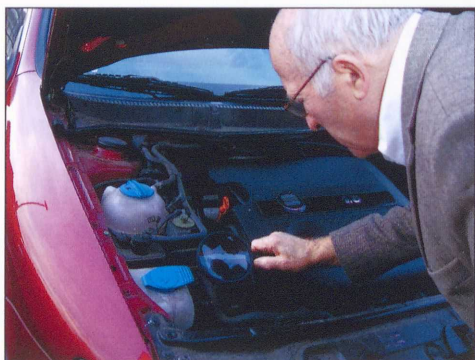
1. Wstęp

Termin „badania nieniszczące” ma dwa odpowiedniki w języku angielskim – *Nondestructive Testing* i *Nondestructive Evaluation*. Przez badania nieniszczące (nieinwazyjne) są rozumiane badania materiałów, urządzeń i żywych organizmów niewywołujące zmiany ich właściwości. Początkowo narzędziami badawczymi były tylko ludzkie zmysły: wzrok, słuch, dotyk i powonienie. Tych zmysłów używają też zwierzęta. Do badań może być użyty tylko jeden zmysł lub równocześnie kilka. Proces łączenia informacji uzyskiwanych z różnych źródeł może zostać przeprowadzony za pomocą algorytmów fuzji danych. Rozwój metod badawczych wyraźnie poprawił skuteczność badań nieniszczących. Promienie Roentgena, ciecze penetrujące o niskiej lepkości, ultradźwięki, wzbudzone cząstki i pole elektromagnetyczne rozszerzyły możliwości naszych zmysłów. Następną szansę dały algorytmy rozwiązywania zadań odwrotnych i tomografia komputerowa [15]. Duży postęp spowodowało wykorzystanie cyfrowego przekształcania sygnałów.

Wzrok stwarza wiele możliwości badawczych. Jest on wykorzystywany bezpośrednio lub pośrednio. Z bezpośrednim wykorzystywaniem wzroku mamy



Rys. 1. Badanie kobiety



Rys. 2. Obserwacja mikropęknięć

do czynienia, gdy oglądamy wady zewnętrzne. Pośrednie wykorzystanie wzroku występuje na przykład podczas oglądania radiogramów lub rąk zakwefionej kobiety i wyciągania na tej podstawie wniosków o jej zdrowiu.

Metoda wzrokowa była wykorzystywana przez jednego z twórców nowoczesnej medycyny Avicennę. Metody wizualne ciągle odgrywają również ważną rolę w technicznych badaniach nieniszczących. Przykładem mogą być badania penetracyjne, którymi wykrywa się powierzchniowe mikropęknięcia.

Następnym zmysłem wykorzystywanym w testowaniu właściwości materii żywej i nieożywionej jest węch. Ten zmysł jest stosowany na przykład w testowaniu żywności, wykrywaniu materiałów wybuchowych czy też narkotyków. Zmiany zachodzące w budowie cząstek powodują na przykład zmiany zapachu. Dzieje się tak w procesie jęlczenia masła. Podobnie jest, gdy zboże zostanie zaatakowane przez pleśń.

Zamiast posługiwania się powonieniem można skorzystać ze zmiany przenikalności elektrycznej zjełczałego masła. Można je wprowadzić do wnęki rezonansowej, zmieniając tym jej częstotliwość rezonansową.

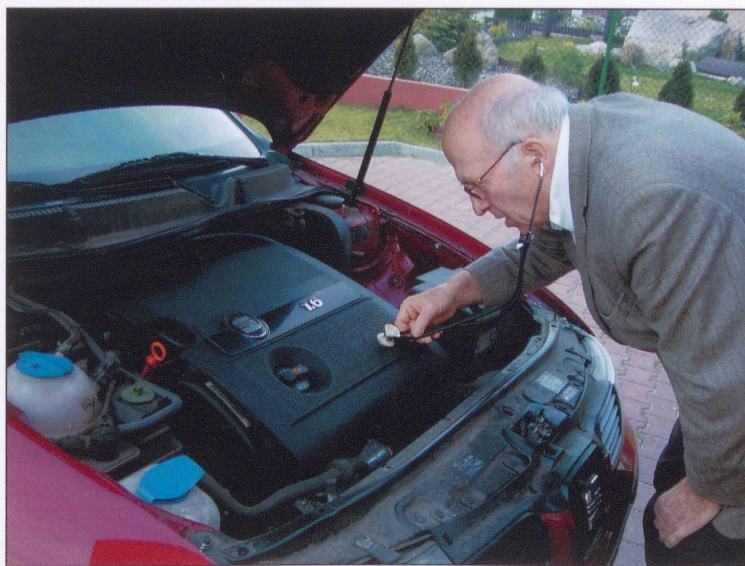


Rys. 3. Testowanie żywności

Kolejnym zmysłem jest słuch. Posługując się nim, można stwierdzić zmiany właściwości fizykochemicznych testowanego materiału. Osłuchiwanie są ludzie, maszyny lub materiały. Metody akustyczne mają duży zakres stosowania, a zaawansowane przetworniki pomiarowe i algorytmy przetwarzania sygnałów pozwoliły na uzyskanie znacznie większej czułości.



Rys. 4. Osłuchiwanie niemowlaka



Rys. 5. Osłuchiwanie silnika samochodowego



Rys. 6. Badanie kota

Nie mniej istotnym zmysłem jest dotyk. Dotykem można badać chropowatość powierzchni. Mimo wszechstronnego rozwoju narzędzi i metod stosowanych w badaniach nieniszczących zmysły ciągle odgrywają ważną rolę w badaniach bezpośrednich i pośrednich. Oglądając zdjęcie rentgenowskie spawu, wykorzystujemy wzrok i znajomość właściwości promieniowania. Wnioski wyciągamy, opierając się na posiadanej wiedzy i wzorcach. Bezpośrednie oglądanie spawu dostarczy nam nieporównanie mniej informacji o jego właściwościach.

Rozwój nanotechnologii stwarza duże możliwości w badaniach nieniszczących. W 2005 roku użyto jednorazowej kamery M2A (*Mouth to Anus*) do testowania przewodu pokarmowego. Kamera została umieszczona w małej kapsułce, którą połyka człowiek. Ta bezprzewodowa kamera testuje wszechstronnie przewód pokarmowy, przesyłając sygnały drogą radiową. Jest to przykład wykorzystania osiągnięć nanotechnologii, techniki cyfrowej oraz bezprzewodowej transmisji danych i obrazów. Jeżeli przypomnimy sobie badania za pomocą sondy żołądkowej, to widzimy, jaki dokonał się postęp w badaniach nieniszczących. W podobny sposób testuje się gazociągi i ropociągi. Wprowadzane do nich urządzenia, zbudowane z zastosowaniem odpowiedniej technologii badawczej, testują systemy rurociągów.

Gdy rurociąg jest wykonany ze stali węglowej (ferromagnetycznej), nie można wykorzystać transmisji radiowej do przesyłu danych. W związku z tym dane są gromadzone w urządzeniu i odczytywane dopiero po jego wyjęciu. W przypadku rurociągów nieekranujących fal radiowych informacje można odczytywać w czasie rzeczywistym. Ta technologia, polegająca na wędrówce drogą wyznaczoną przez naturalne procesy, jest również wykorzystywana do badania atmosfery i cieków wodnych.

Pamiętamy historię amerykańskich sond umieszczanych na balonach i walkę z nimi LWP. Oczywiście jednak jest, że metody wykorzystywane w testowaniu są stosowane również w szpiegostwie. Zdalne testowanie sprzętu bojowego pozwala wykrywać jego słabe punkty, a następnie skutecznie go zwalczać. Podobnie jest z ludźmi. Ta sama technologia może być użyta do naprawy (leczenia) lub uszkadzania (niszczenia).

Znany jest problem walki z terroryzmem. Nieniszczące metody wykrywania niebezpiecznych materiałów są dobrze opracowane i ciągle doskonalone. Lepszą metodą jest badanie obecnych i przyszłych zamiarów testowanej osoby, a zdalna metoda pomiaru ludzkich myśli ma ogromną przyszłość. Budzi to nadzieję, ale i strach.

Poważny rozwój badań nieniszczących umożliwiło wprowadzenie technologii cyfrowej. Cyfrowe przetwarzanie sygnałów, w tym obrazów w przestrzeni 3-D, pozwala na rozszerzenie zakresu usług w ramach badań nieniszczących. Każde przetwarzanie sygnału, w tym i cyfrowe, powoduje pewną utratę informacji. Umożliwia jednak automatyzację procesu identyfikacji i pozyskanie dodatkowych danych w porównaniu z informacjami uzyskiwanymi z sygnałów analogowych. Bez problemu można również wyznaczać parametry sygnałów cyfrowych mogące stanowić istotny materiał diagnostyczny.

2. Radiografia cyfrowa

Radiografia to rozpowszechniona nieniszcząca metoda badań. Jest wykorzystywana w wielu gałęziach przemysłu i medycyny. Jednym z jej zastosowań jest badanie połączeń spawanych. Radiograficzne testowanie spawów w tym przypadku polega na przeglądaniu zdjęć rentgenowskich przez specjalistę. Procedura wykonania zdjęcia rentgenowskiego nie jest obojętna dla środowiska. Bezpośrednio z nią jest związana utylizacja odczynników chemicznych używanych podczas produkcji zdjęć. Następnym problemem jest archiwizacja zdjęć. W celu usunięcia tej niedogodności wprowadzono cyfrową obróbkę radiogramów. Zdjęcia cyfrowe są pozyskiwane albo przez skanowanie zdjęć wykonanych w tradycyjny sposób w specjalnych skanerach, albo przez bezpośrednie wykonanie radiogramu od razu w technice cyfrowej. W tym drugim przypadku są stosowane dwie techniki [9]:

1. CR – *Computed Radiography* – przy wykorzystaniu luminoforowych płyt obrazowych wrażliwych na promieniowanie rentgenowskie.

2. DDR – *Direct Digital Radiography* – przy wykorzystaniu bezpośrednich detektorów promieniowania rentgenowskiego (matryce).

Pierwsza metoda (CR) polega na naświetlaniu płyt, pokrytych czynnikiem wrażliwym na promieniowanie rentgenowskie. Płyty fosforowe wykorzystują zjawisko fotostymulacji polegające na wtórnej emisji promieniowania pod wpływem promieniowania laserowego. Promieniowanie wtórne jest emitowane z obszarów płyty naświetlonych wcześniej promieniowaniem rentgenowskim i ma tę cechę charakterystyczną, że długość jego fali jest znacznie większa niż promieniowania rentgenowskiego, a natężenie jest proporcjonalne do natężenia promieniowania rentgenowskiego. Dzięki różnicy w długości fali promieniowanie wtórne jest łatwiejsze do zarejestrowania przez detektor niż promieniowanie rentgenowskie. Informacja zebrana na naświetlonej płycie jest odczytywana w specjalnym skanerze laserowym. Następnie, już w postaci cyfrowej, może być przeglądana na monitorze. Odczyt zasadniczo nie może się odbywać on-line. Obecnie osiągnięta rozdzielczość wynosi poniżej 20 mikronów i należy się spodziewać, że będzie zwiększona. Płyty są wielokrotnego użytku. Usuwanie informacji z płyty wymaga naświetlenia jej światłem. Poważną zaletą tej metody jest to, że płyty obrazowe są w pewnym zakresie elastyczne, a przez to mogą być dopasowane do krzywizny badanego obiektu.

W drugiej metodzie obraz jest rejestrowany przez specjalne elektroniczne matryce wrażliwe bezpośrednio na promieniowanie rentgenowskie. Obraz jest dostępny natychmiast. Metoda nadaje się do testowania on-line. W rozpatrywanym przypadku problemem jest elastyczność elementów światłoczułych umożliwiające badanie obiektów o skomplikowanym kształcie. Nie ma natomiast problemów z badaniem powierzchni płaskich. W przypadku badania odlewów o skomplikowanych kształtach istnieje konieczność wyginania elementu światłoczułego, co może spowodować jego uszkodzenie. Obie metody stanowią poważną konkurencję dla tradycyjnej radiografii. Dodatkową zaletą metod cyfrowych jest łatwość archiwizacji zdjęć, ponieważ odbywa się ona na drodze elektronicznej. Zdjęcia można bez kłopotu przysyłać na dowolną odległość, korzystając z przewodowej lub bezprzewodowej sieci komputerowej, a także składować na dyskach twardej lub płytach DVD celem późniejszej analizy. Bezpośrednio lub pośrednio uzyskany obraz cyfrowy podlega przetworzeniu na komputerze i tak obrobiony jest podstawą podjęcia decyzji przez operatora. Zdjęcia rentgenowskie w postaci cyfrowej umożliwiają również przeprowadzenie półautomatycznego lub w pełni zautomatyzowanego procesu detekcji i identyfikacji wad. Pozwala to na znacznie szybsze wychwytywanie obiektów zawierających wady. Zdjęcia takie mogą być później dodatkowo weryfikowane przez wykwalifikowanego operatora celem wyeliminowania pomyłek. Proces automatycznej detekcji wad ma niebagatelne znaczenie we wszystkich tych gałęziach przemysłu, w których jest wymagane wykonywanie dużej liczby radiogramów. Dobrym przykładem jest tu przemysł stoczniowy, gdzie właściwie bada się każdy fragment spawu w kadłubie statku,

a liczba wykonywanych zdjęć sięga tysięcy. Systemy półautomatycznej lub automatycznej detekcji i identyfikacji wad są oparte na algorytmach sztucznej inteligencji. Układ sztucznej inteligencji sam podejmuje decyzję o tym, czy testowany element jest wadliwy czy nie.

3. Porównanie wybranych metod testowania spawów [10]

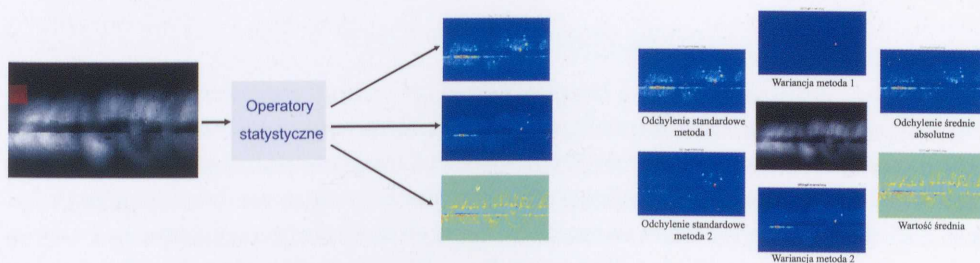
Metody detekcji i identyfikacji wad na radiogramach można podzielić na dwie główne grupy: metody bezpośrednie i metody pośrednie. Metody bezpośrednie operują na oryginalnym radiogramie, metody pośrednie zaś wymagają wcześniejszego przetworzenia radiogramu za pomocą określonych algorytmów. Celem obu metod jest znalezienie oraz wyekstrahowanie wad z radiogramu dla przeprowadzenia ich dalszej analizy i klasyfikacji. Porównanie skuteczności poszczególnych metod zostało wykonane z wykorzystaniem rzeczywistych radiogramów uprzednio opisanych przez wykwalifikowanego operatora.

Rozpatrzmy trzy metody:

- bezpośrednią opartą na logice rozmytej (FL),
- bezpośrednią opartą na sztucznych sieciach neuronowych (ANN),
- pośrednią wykorzystującą odejmowanie tła.

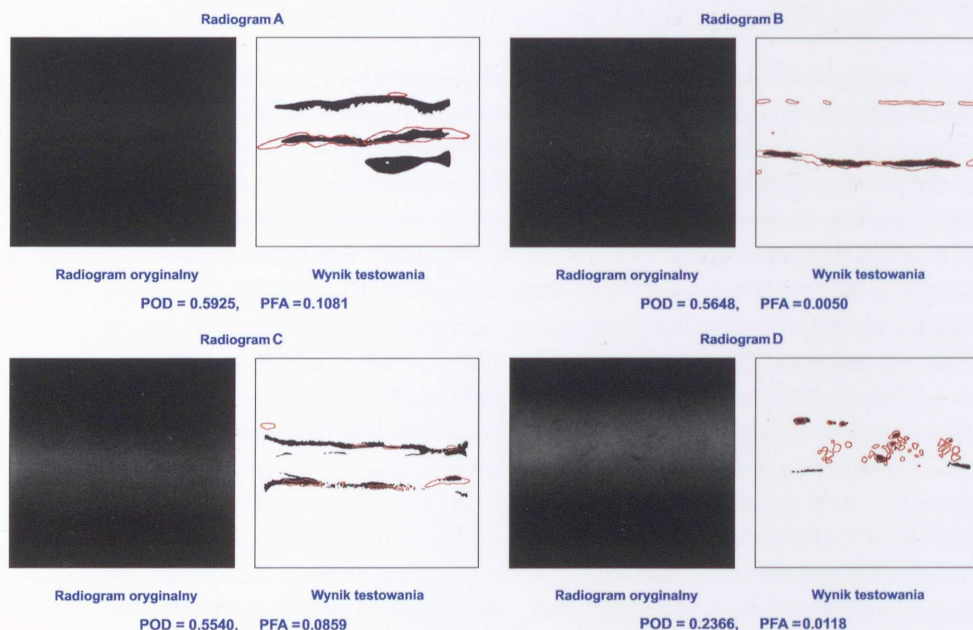
Metoda wykorzystująca logikę rozmytą

Metoda oparta na FL naśladuje proces percepcji wad przez ludzkie oko. Prawdopodobieństwo dostrzeżenia defektu na zdjęciu zależy od poziomu kontrastu pomiędzy defektem a jego najbliższym otoczeniem. To prowadzi nas do lokalnego przetwarzania obrazu celem wykrycia punktów na obrazie różniących się w określony sposób od otoczenia. Na pierwszym etapie zdjęcie radiograficzne jest przetwarzane za pomocą różnych operatorów statystycznych (średnia, wariancja itp.) działających lokalnie w obrębie kwadratowego okna o określonym rozmiarze. Okno to jest przesuwane po obrazie co jeden piksel. W wyniku uzyskuje się tak zwane mapy prawdopodobieństwa wskazujące te miejsca na radiogramie, w których znajdują się obiekty różniące się od tła (rys. 7). Poszczególne



Rys. 7. Proces tworzenia map prawdopodobieństwa oraz wybrane mapy prawdopodobieństwa uzyskane z użyciem różnych operatorów

operatory wykazują różną wrażliwość na różnego typu defekty. Mapy te wraz z oryginalnym obrazem stanowią dane wejściowe dla systemu logiki rozmytej, który podejmuje decyzję, czy dany punkt obrazu można zakwalifikować jako wadę czy element tła.

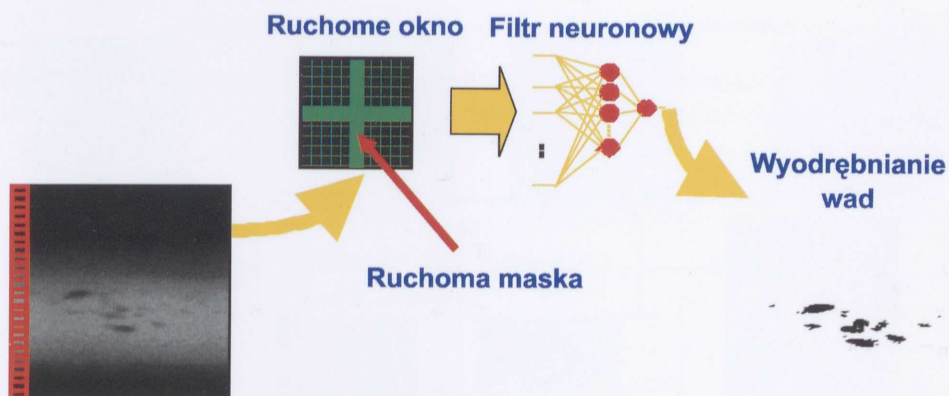


Rys. 8. Wyniki uzyskane metodą logiki rozmytej. Obrysem zaznaczono rzeczywiste położenie i kształt wady

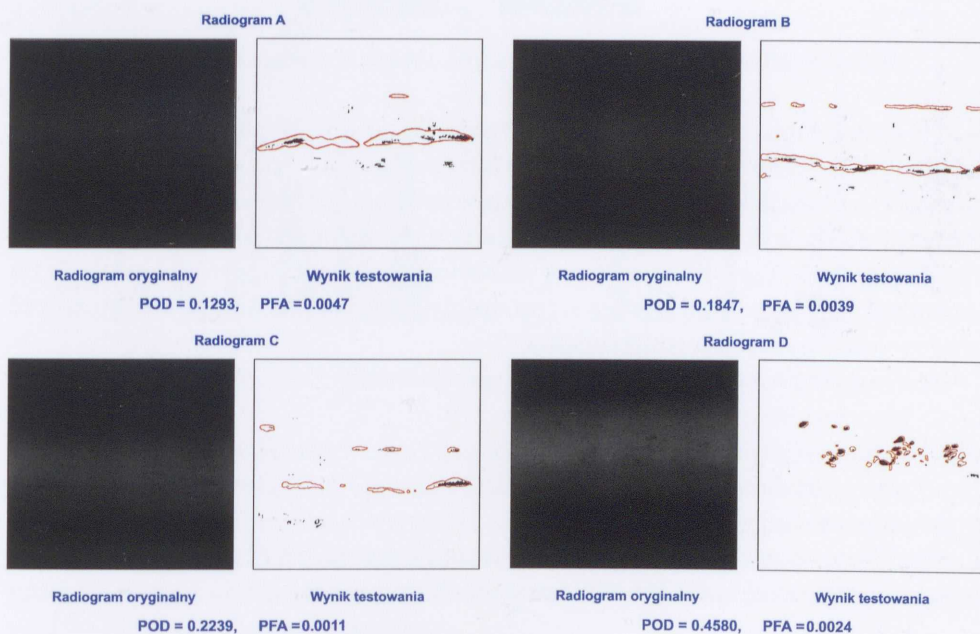
Wyniki uzyskane tą metodą wskazują, że nadaje się ona do detekcji długich wad, a nie jest skuteczna w przypadku wad punktowych. Przykładowe wyniki są zaprezentowane na rys. 8. Główną zaletą tej metody jest mała złożoność obliczeniowa oraz krótki czas treningu, wadą zaś duża czułość na lokalne zniekształcenia i zakłócenia obrazu.

Metoda wykorzystująca sieci neuronowe

Kolejną metodą operującą bezpośrednio na radiogramie jest metoda wykorzystująca sztuczne sieci neuronowe [14]. Schemat przetwarzania radiogramu jest zaprezentowany na rys 9. Wartości jasności pikseli, pobrane z kwadratowej ruchomej maski, stanowią wejście sztucznej sieci neuronowej. Dla każdego położenia maski jest estymowana wartość jednego punktu obrazu wyjściowego. Obraz wyjściowy przyjmuje wartości binarne, kwalifikujące kolejne punkty do obszaru wady albo tła. Sieć neuronowa działa, wykorzystując bazę wiedzy uzyskaną w procesie treningu. Trening został przeprowadzony z zastosowaniem radiogramów



Rys. 9. Ogólny schemat przetwarzania z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych

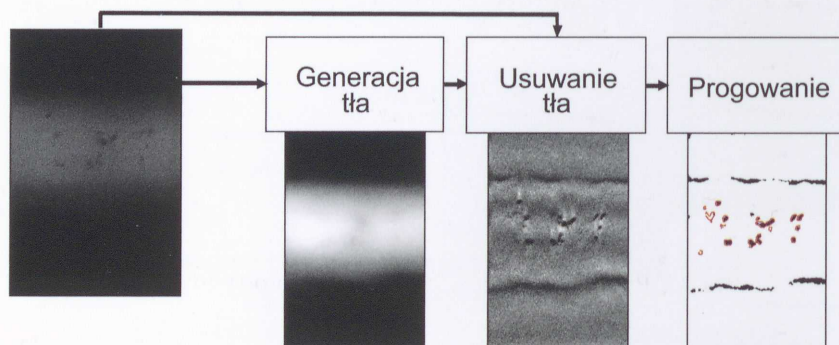


Rys. 10. Wyniki uzyskane metodą neuronową

zawierających wady o znanym położeniu i kształcie. Co ważne, zdjęcia te nie były później używane do testowania działania algorytmu.

Zastosowana sieć neuronowa zawierała dwie warstwy ukryte, składające się odpowiednio z pięciu i dwudziestu neuronów. Rozmiar maski wynosił 33×33 piksele obrazu. Metoda ta jest bardzo szybka, ale ma te same wady jak poprzednio przedstawiona metoda FL, mianowicie jest wrażliwa na szum i inne zakłócenia obrazu. Przykładowe wyniki dla zbioru testowego radiogramów przedstawia rys. 10.

W metodzie pośredniej operacja segmentacji radiogramu, czyli wyodrębniania wad, jest wykonywana przez odejmowanie tła radiogramu od obrazu oryginalnego (rys. 11).



Rys. 11. Schemat operacji przetwarzania obrazu w metodzie pośredniej

Tło radiogramu może być generowane na dwa sposoby. W pierwszym przypadku oryginalny radiogram jest przetwarzany filtrem medianowym o dużej masce. Odpowiada to filtracji filtrem dolnoprzepustowym o bardzo wąskiej charakterystyce. Druga metoda wykorzystuje funkcje Gaussa do aproksymacji obszaru spawu. Sygnał tła jest następnie odejmowany od radiogramu początkowego. Usunięcie tła powoduje, że sygnał wad zostaje wzmacniony, dzięki czemu można zastosować progowanie celem ich wyodrębnienia.

Zastosowano następujące algorytmy progowania:

- algorytm iteracyjny,
- algorytm gradientowy,
- algorytm Otsu,
- algorytm adaptacyjny.

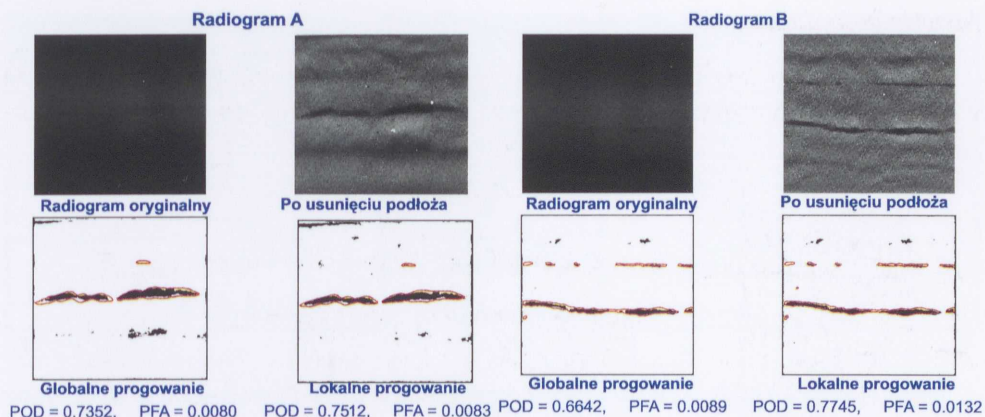
Wyniki progowania zostały dodatkowo przetworzone filtrem medianowym celem usunięcia szumów. Przykładowe wyniki zaprezentowano na rys. 12.

Analiza wyników

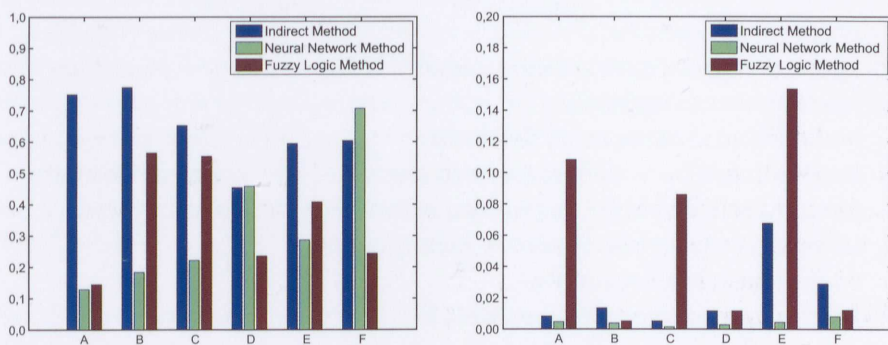
Porównanie wybranych metod detekcji wad przeprowadzono na sześciu rzeczywistych radiogramach zawierających defekty różnego typu. Jako kryterium porównania wykorzystano dwa parametry:

- POD (*Probability of Detection*) prawdopodobieństwo wykrycia rzeczywistej wady,
- PFA (*Probability of False Alarm*) prawdopodobieństwo wykrycia nieistniejącej wady.

Można zauważyć, że dla długich wad najbardziej skuteczna jest metoda pośrednia, na co wskazują duże wartości współczynnika POD. Małe wady są skuteczniej



Rys. 12. Przykładowe wyniki uzyskane metodą pośrednią

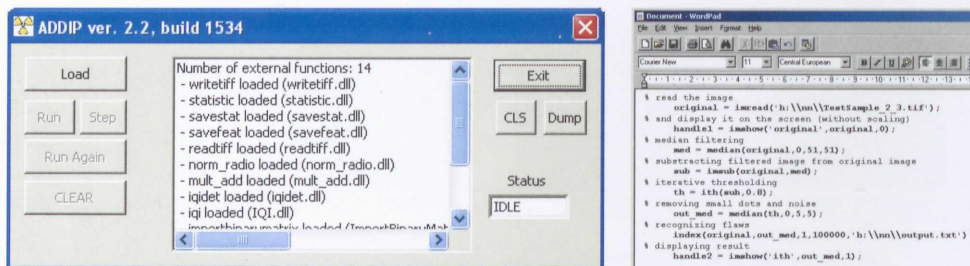


Rys. 13. Porównanie POD i PFA dla trzech metod i różnych typów wad

wykrywane z użyciem metody opartej na sieciach neuronowych. Rozpatrując wyniki pod kątem współczynnika PFA, należy uznać metodę FL za najmniej wiarygodną. W podsumowaniu można stwierdzić, że żadna z metod nie jest wystarczająco skuteczna dla wszystkich rodzajów wad. Najlepszym rozwiązaniem jest łączenie różnych metod, co umożliwi znacznie lepszą identyfikację znacznego zakresu wad występujących w radiogramach.

Oprogramowanie do automatycznej analizy radiogramów

W celu ułatwienia analizy radiogramów oraz umożliwienia testowania nowych algorytmów stworzono oprogramowanie kryjące się pod nazwą Automatyczna Detekcja i Identyfikacja Wady (ADDIP). Jest to zbiór algorytmów opracowanych na Politechnice Szczecińskiej, przeznaczonych do identyfikacji wad. ADDIP jest interpreterem języka skryptowego, w którym zaimplementowano ponad 60 komend, operujących na obrazach, macierzach oraz liczbach. Podstawową zaletą stworzonego oprogramowania jest to, że umożliwia proste dodawanie kolejnych funkcji zdefiniowanych w zewnętrznych bibliotekach DLL.



Rys. 14. Główne okno programu ADDIP oraz przykładowy skrypt

Funkcje używane w ADDIP obejmują wszystkie niezbędne operacje stosowane w analizie radiogramów i identyfikacji wad:

- operacje wejście/wyjście (czytanie/gromadzenie/wyświetlanie),
- filtrację obrazów,
- progowanie obrazów,
- operacje algebraiczne na obrazach,
- operacje morfologiczne,
- identyfikację i oznaczanie defektów,
- analizę defektów – obliczanie cech charakterystycznych ich kształtu,
- identyfikację defektów za pomocą sztucznych sieci neuronowych,
- automatyczny wybór obszarów identyfikacji,
- ocenę jakości radiogramów.

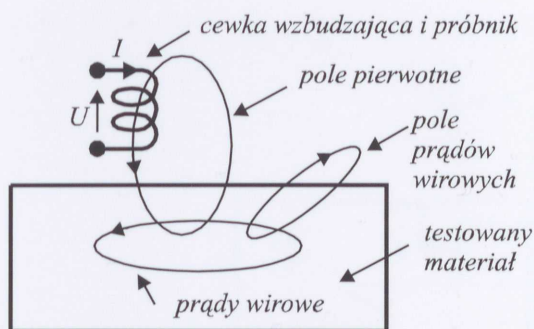
Stworzone oprogramowanie umożliwia łatwe i szybkie testowanie nowych metod przetwarzania obrazów z wykorzystaniem już istniejącej bazy algorytmów. Praca jest współfinansowana przez Komisję Europejską w ramach projektu FilmFree.

4. Elektromagnetyczne metody testowania materii [11, 13]

Elektromagnetyczne metody badań nieniszczących są coraz częściej stosowane. Współczesne bardzo czułe czujniki pola magnetycznego o stałej czułości dochodzącej w szerokim paśmie częstotliwości do 10^{-15} T zwiększają zakres zastosowań elektromagnetycznych metod testowania. W rozwoju metod testowania, a szczególnie metod elektromagnetycznych, ważną rolę odgrywa cyfrowa obróbka sygnałów. Umożliwia ona zwiększenie stosunku sygnału do szumu i prawie dowolne przetworzenie i transmisję.

Nowym, obiecującym obszarem zastosowań jest medycyna i biologia. Przykładowo magnetyczny rezonans jądrowy i szumy Barkhensena są wykorzystywane odpowiednio w diagnostyce medycznej i w testowaniu materiałów ferromagnetycznych. Nie są one jednak tematem tego wystąpienia.

Śpośród metod elektromagnetycznych omówię jedynie metodę wiroprowadową. Przedstawimy pierwszą interpretację tej metody. Defektoskopia wiroprowadowa wykorzystuje zjawisko reakcji prądów wirowych. Na rysunku 15 pokazano cewkę



Rys. 15. Idea defektoskopii wiopracowej



Rys. 16. Wada i wtrącenie

znajdującą się nad materiałem przewodzącym. Strumień magnetyczny Φ indukuje w materiale zmienne pole elektryczne, które wywołuje prądy wirowe. Ich rozprzysł jest zakłócany przez wady (deformacje, ubytki lub wtrącenia). Przedstawiono to na rysunku 16. Prądy wirowe indukują pole magnetyczne nakładające się na pole magnetyczne wzbudzone przez cewkę. Jest to opisane pierwszym i drugim równaniem Maxwella [12]:

$$\text{rot } \underline{H} = \gamma \underline{E} + \varepsilon \frac{\partial \underline{E}}{\partial t}, \quad (1)$$

$$\text{rot } \underline{E} = -\mu \frac{\partial \underline{H}}{\partial t}. \quad (2)$$

Dla wymuszenia harmonicznego równania (1) i (2) przybierają następującą postać:

$$\text{rot } \underline{H} = \gamma \underline{E} + j\omega \varepsilon \underline{E}, \quad (3)$$

$$\text{rot } \underline{E} = -j\omega \mu \underline{H}. \quad (4)$$

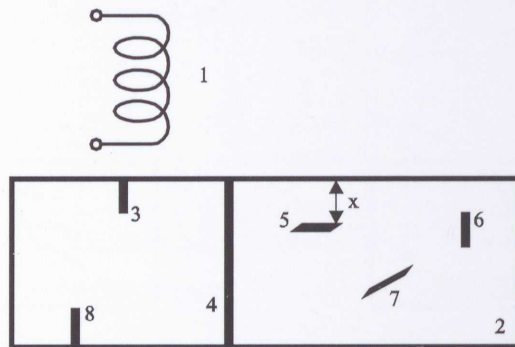
Gdy jest spełniona nierówność (tak jest w przypadku testowania metalu):

$$\gamma \gg j\omega \varepsilon, \quad (5)$$

równanie (3) upraszcza się do postaci:

$$\text{rot } \underline{H} = \gamma \underline{E}. \quad (3a)$$

Zmienne pole magnetyczne wzbudza prądy przewodzenia wielokrotnie większe od prądów przesunięcia. Rozkład wypadkowego pola magnetycznego zależy od jednorodności lub niejednorodności testowanego materiału. Niejednorodności



Rys. 17. Rodzaje wad występujących w materiałach

występujące w testowanym materiale wywołują nierównomierny rozptyw prądów wirowych, a one indukują nierównomierne pole magnetyczne reakcji.

Na rysunku 17 przedstawiono typowe wady istniejące w materiałach. Defekt (3) pojawia się w materiale (2) po stronie cewki wzbudzającej (1). Wada (4) jest przelotowa, a wady (5, 6 i 7) występują wewnątrz materiału. Defekt (8) znajduje się po przeciwnej stronie materiału względem cewki. Wady (3, 4 i 8) są powierzchniowe, a wady (5, 6 i 7) wewnętrzne. Najłatwiej wykrywane są defekty znajdujące się po stronie cewki i wady przelotowe, pozostałe wykrywa się trudniej.

Wady występujące w testowanym materiale mogą mieć różny charakter. Mogą to być pęknięcia lub ubytki materiału. Tego typu wady mają konduktywność równą zeru ($\gamma = 0$) i względną przenikalność magnetyczną równą jedynce ($\mu_r = 1$). Ze względu na dużą różnicę między konduktywnością testowanego materiału (metal) i wady (pustki) są one stosunkowo łatwo wykrywalne. Wady występujące w materiale mogą być też wtrąceniami materiałów o innej konduktywności i przenikalności niż testowany materiał. Jeżeli różnice między parametrami (γ, μ) wady i badanego materiału są małe, to wykrywanie wad jest trudne.

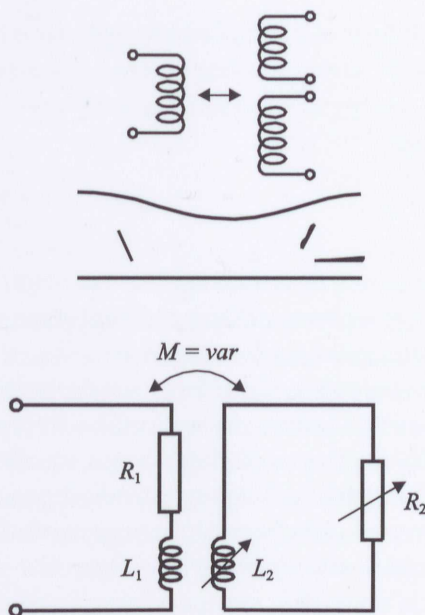
Przedstawimy teraz drugą interpretację metody wiropądowej. Testowany materiał możemy pokazać jako wtórne uzwojenie transformatora powietrznego (rys. 18). W celu wyjaśnienia tego problemu przeanalizujemy wpływ różnych czujników na impedancję wejściową uzwojenia pierwotnego transformatora powietrznego. Na rysunku 19 przedstawiono schemat zastępczy transformatora powietrznego ze zwartym uzwojeniem wtórnym.

Impedancja odosobnionego uzwojenia pierwotnego jest wyrażona wzorem:

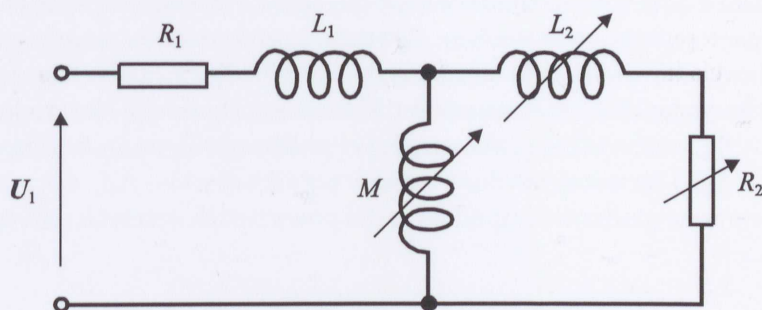
$$\underline{Z}_{10} = R_1 + j\omega L_1, \quad (6)$$

a cewki nad materiałem:

$$\underline{Z}_{1w} = (R_1 + \Delta R) + j\omega(L_1 - \Delta L). \quad (7)$$



Rys. 18. Testowany materiał jako uzwojenie wtórne transformatora



Rys. 19. Schemat zastępczy transformatora powietrznego ze zwartym uzwojeniem wtórnym

Wartości zmian rezystancji ΔR i indukcyjności ΔL zależą od: częstotliwości f (częstotliwości kątowej ω), wymuszenia, sprzężenia indukcyjnego między sondą a testowanym materiałem (od którego zależy indukcyjność wzajemna M), zastępczej rezystancji stawianej prądom wirowym przez testowany materiał oraz od indukcyjności związanej ze strumieniem magnetycznym prądów wirowych.

Przeanalizujemy teraz wpływ poszczególnych czynników na zmianę impedancji wejściowej Z_{1w} . Częstotliwość oddziałuje na rezystancję wniesioną przez testowany materiał:

$$\Delta R = \frac{\omega^2 M^2 R_2}{Z_2^2} \quad (8)$$

i na wniesioną reaktancję:

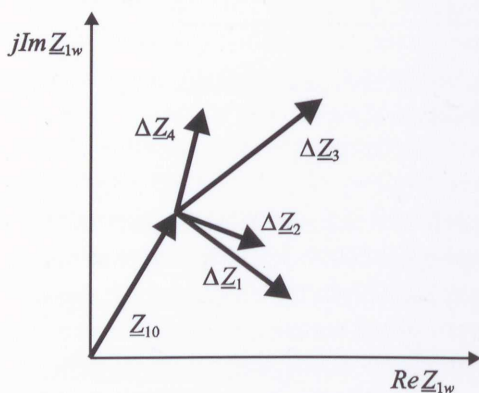
$$\omega \Delta L = \frac{\omega^3 M^2 L_2}{Z_2^2}. \quad (9)$$

Oprócz tego częstotliwość wpływa na wartości rezystancji R_2 i indukcyjności L_2 , co jest związane ze zjawiskiem naskórkowości.

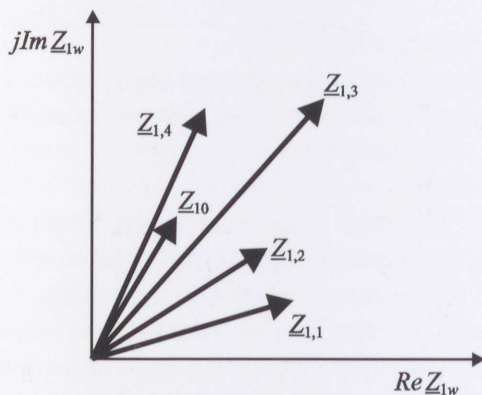
Indukcyjność wzajemna zależy od relacji między strumieniem wzajemnym przenikającym przez sondę i testowany materiał a strumieniem obejmującym sondę. Zmiana odległości między sondą a testowanym materiałem nazywana jest unoszeniem (w języku angielskim – *lift-off*). Powoduje ona zmianę sprzężenia indukcyjnego sondy z materiałem, wywołując zmianę indukcyjności wzajemnej M . Zmienia się więc impedancja wejściowa sondy.

Zastępcza rezystancja obwodów wiroprowadowych w testowanym materiale R_2 zależy od: obszaru, który penetrują prądy wirowe, częstotliwości, rezystywności, rodzaju i rozmieszczenia wad. Podobnie jest z zastępczą indukcyjnością L_2 . Zależy ona też od efektywnej przenikalności magnetycznej testowanego materiału.

Na rysunku 20 przedstawiono wykresy impedancji odosobnionej cewki (sondy) Z_{10} i przyrosty impedancji wywołane zbliżeniem cewki do testowanego materiału. Założono stałą odległość cewki od materiału (stały *lift-off*) w czterech przypadkach. Przyrosty impedancji zostały wywołane zbliżeniem cewki do: materiału o $\mu_r = 1$ bez wady – ΔZ_1 , materiału o $\mu_r = 1$ z wadą w pobliżu cewki – ΔZ_2 , ferromagnetyku bez wady – ΔZ_3 i ferromagnetyku z wadą w pobliżu cewki – ΔZ_4 . Na rysunku 21 przedstawiono wypadkowe impedancje dla powyższych czterech przypadków.



Rys. 20. Wykresy impedancji pojedynczej cewki (sondy)



Rys. 21. Wykres wypadkowej impedancji pojedynczej cewki (sondy)

Zmiana impedancji może być traktowana jako sygnał pomiarowy w sondach parametrycznych, na których wyjściu jest mierzona. W sondach generacyjnych jest mierzone napięcie. Przy wymuszeniu prądowym jest ono proporcjonalne do impedancji:

$$\underline{U}_{1w} = \underline{Z}_{1w} \underline{I} = C \underline{Z}_{1w}. \quad (10)$$

Impedancja wejściowa może być odwzorowana na płaszczyźnie zespolonej. Jest to jednak dość trudne ze względu na skomplikowane zależności ΔR i ΔL od częstotliwości i parametrów testowanego materiału. Można też posługiwać się wielkościami zastępczymi, takimi jak na przykład przenikalność skuteczna μ_{eff} . Na ogół jednak korzysta się z wyników modelowania matematycznego – analitycznego lub numerycznego. Najbardziej rozpowszechnioną metodą modelowania numerycznego jest metoda elementu skończonego. [12]. Można też korzystać ze schematów zastępczych i metody miejsc geometrycznych [2]. Ponieważ pole magnetyczne stosowane w metodzie wiropądowej ma małą wartość, często można założyć, że przenikalność jest stała.

W celu globalnego uwzględnienia zjawiska naskórkowości (nierównomiernego rozkładu pola elektromagnetycznego) w przewodniku – wprowadza się zespoloną wielkość zwaną magnetyczną przenikalnością skuteczną μ_{eff} . Najprostszą definicję skutecznej przenikalności uzyskuje się, rozpatrując nieskończony walec o $\sigma = \sigma_0$ umieszczony w nieskończonym solenoidzie, przez który przepływa prąd sinusoidalnie zmienny. Przenikalność skuteczna jest stosunkiem strumienia wektora indukcji, przenikającego przez walec do strumienia, który by przenikał przez walec, gdyby wewnątrz niego nie było prądów wirowych:

$$\underline{\mu}_{\text{eff}} = \frac{\underline{\Phi}}{\underline{\Phi}_0}. \quad (11)$$

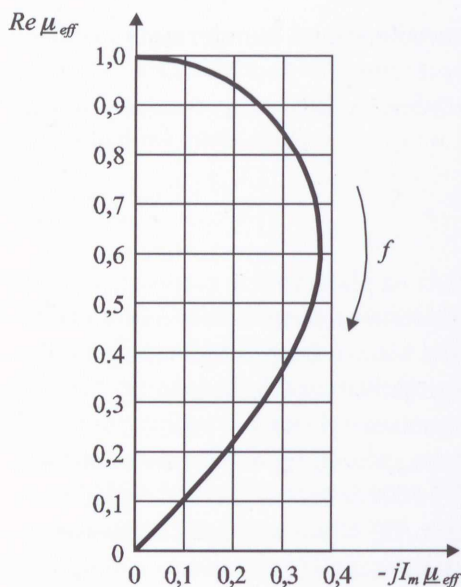
Na rysunku 22 [1, 5] przedstawiono μ_{eff} w funkcji f/f_g dla walca przewodzącego przy założeniu, że współczynnik wypełnienia $\eta = 1$. Łatwo jest zauważyć, że moduł przenikalności skutecznie nie jest większy od jedynki:

$$|\underline{\mu}_{\text{eff}}| \leq 1. \quad (12)$$

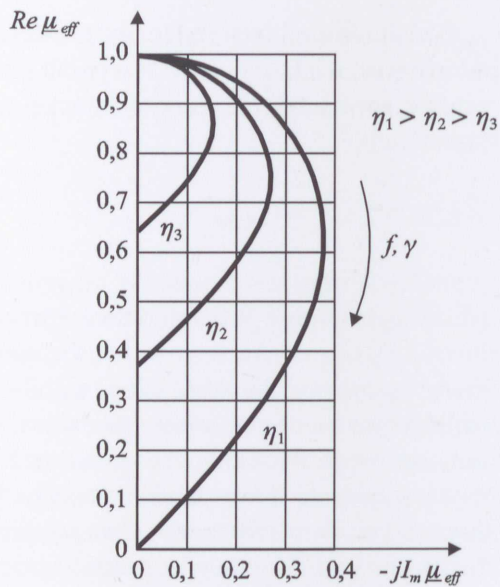
Na rysunku 23 [1, 5] przedstawiono wykresy μ_{eff} w funkcji f/f_g dla kilku wartości współczynnika wypełnienia:

$$\eta = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^2, \quad (13)$$

gdzie: d_1 – wewnętrzna średnica solenoidu, d_2 – średnica walca.



Rys. 22. Wykres skutecznej przenikalności magnetycznej walca



Rys. 23. Wykres μ_{eff} dla kilku współczynników wypełnienia

Z analizy wykresów przedstawionych na rysunku 23 wynika, że kierunki zmian przenikalności skutecznej są różne dla zmian współczynnika wypełnienia i konduktywności. Może to być wykorzystane w celu odróżnienia zmian współczynnika wypełnienia od zmian konduktywności. *Lift-off* generuje sygnały błędne. To zjawisko może jednak być wykorzystane do pomiaru grubości warstwy dielektryka naniesionej na przewodnik.

W trakcie testowania materiału o nierównomiernej powierzchni (rysunek 24) jest generowany sygnał błędny, zakłócający sygnał generowany przez wadę.

Zmiana współczynnika wypełnienia, związana ze zmianą średnicy testowanego przewodzącego walca (rysunek 25) lub przewodzącej rury, generuje sygnał. Może on być wykorzystany w sortowaniu walców i rur. Metodą wiroprowdową można testować grubość lub konduktywność cienkiej warstwy przewodzącej znajdującej się na podłożu z dielektryka. Podczas testowania grubości konduk-



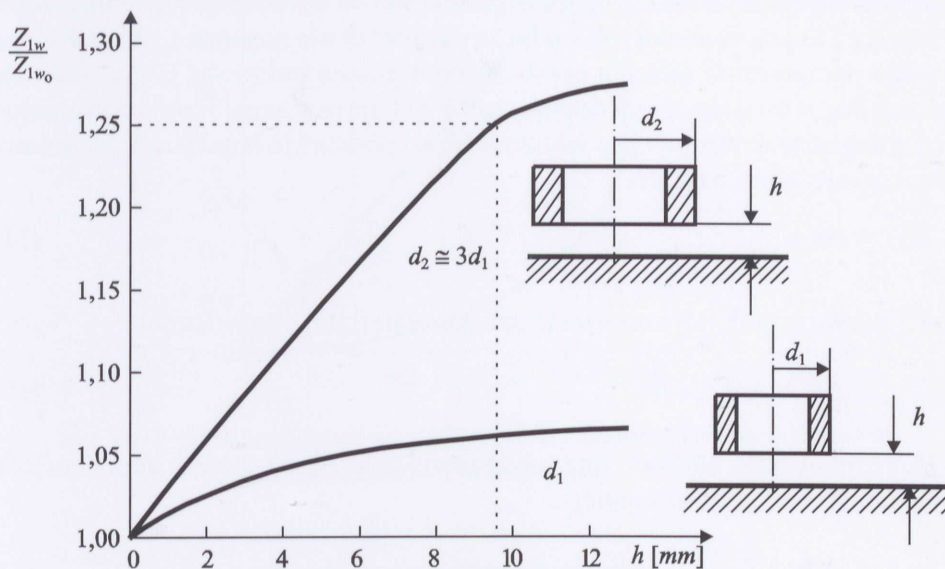
Rys. 24. Wada na tle nierówności powierzchni



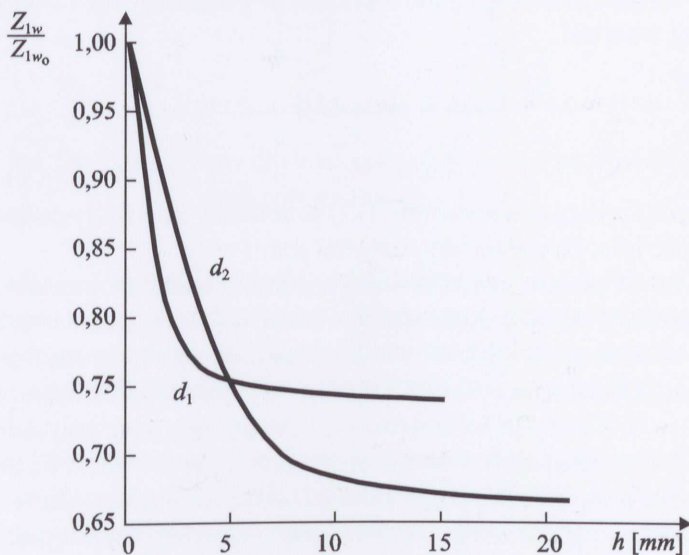
Rys. 25. Identyfikacja kształtu

tywność powinna być stała, a przy testowania konduktywności stała powinna być grubość warstwy.

Na rysunku 26 przedstawiono [5] wpływ zmiany odległości h między sondą (cewką) a testowanym materiałem o $\mu = \mu_0$ na impedancję cewki. Moduł impedancji cewki stykającej się z materiałem (zerowy *lift-off*) został oznaczony jako



Rys. 26. Wpływ unoszenia na impedancję cewki znajdującej się nad materiałem o $\mu = \mu_0$



Rys. 27. Wpływ unoszenia na impedancję cewki znajdującej się nad ferromagnetykiem

Z_{1w0} , a przy *lift-off* różnym od zera jako Z_{1w} . Zmiany są większe w przypadku cewek o większych średnicach. Rysunek został wykonany dla hipotetycznej częstotliwości.

Na rysunku 27 przedstawiono wpływ *lift-off* na impedancję cewki znajdującej się nad ferromagnetykiem. Z wykresu wynika, że początkowo *lift-off* silnie zakłóca sygnał cewki o dużej średnicy. Gdy odległość cewki od testowanego ferromagnetyku przekracza 5 mm, to silniej jest zakłócany sygnał cewki mniejszej. Odosobnioną cewkę z dostatecznie dobrym przybliżeniem można traktować jako reaktancję indukcyjną, w związku z tym dopuszczalne jest uproszczenie wzoru opisującego bilans napięć w uzwojeniu pierwotnym. Na tej podstawie impedancja wejściowa zostanie wyrażona wzorem:

$$\underline{Z}_{10} = j\omega L_1. \quad (14)$$

Uwzględniając oddziaływanie testowanego materiału, otrzymamy:

$$\underline{Z}_{1w} = \Delta R + j\omega L_1 - j\omega \Delta L. \quad (15)$$

Posłużymy się teraz wielkościami względnymi, odnosząc wartości impedancji do impedancji cewki odosobnionej:

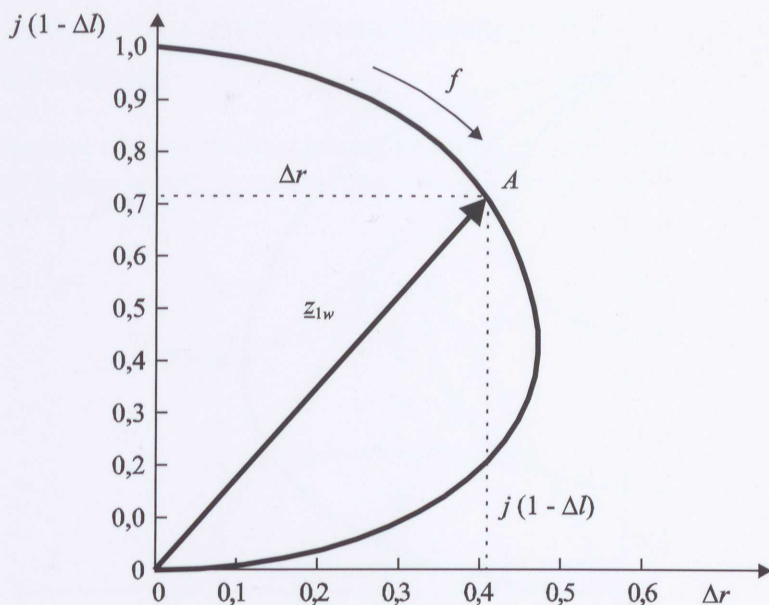
$$\underline{z}_{10} = j \frac{\omega L_1}{\omega L_1} = j1. \quad (16)$$

Impedancja względna cewki znajdującej się w pobliżu testowanego materiału jest wyrażona wzorem:

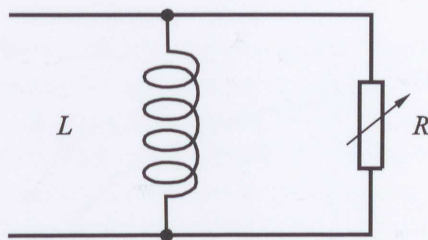
$$\underline{z}_{1w} = \frac{\Delta R}{\omega L_1} + j1 - j \frac{\Delta L}{L_1} = \Delta r + j(1 - \Delta l). \quad (17)$$

Wykres impedancji opisanej wzorem (17) przedstawiono na rysunku 28. W tym przypadku przyjęto, że testowany materiał ma $\mu = \mu_0$.

Założmy, że dla pewnej częstotliwości punktem pracy jest punkt A. Wtedy impedancja wejściowa cewki jest określona wskazem OA, rezystancja odcinkiem Δr , a reaktancja odcinkiem $(1 - \Delta l)$. W celu interpretacji tego wykresu przekształcimy schemat przedstawiony na rysunku 19. Najpierw pominiemy rezystancję cewki, przyjmując $R_1 = 0$. Następnie weźmiemy pod uwagę, że – przy stałym *lift-off* i małej objętości wad występujących w testowanym materiale – wniesioną indukcyjność można pominąć, ponieważ jest mała. Zmienia się jedynie wniesiona rezystancja Δr . Jej zmiany zależą od parametrów testowanego materiału i występujących w nim wad. Po uwzględnieniu powyższych założeń schemat przedstawiony na rysunku 19 upraszczamy do postaci pokazanej na rysunku 29.



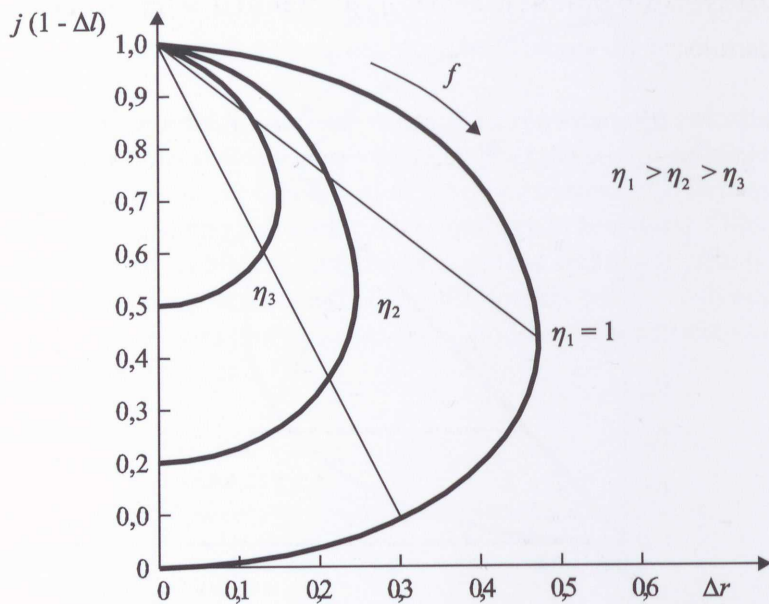
Rys. 28. Wykres impedancji względnej cewki znajdującej się obok materiału przewodzącego o przenikalności $\epsilon = \epsilon_0$



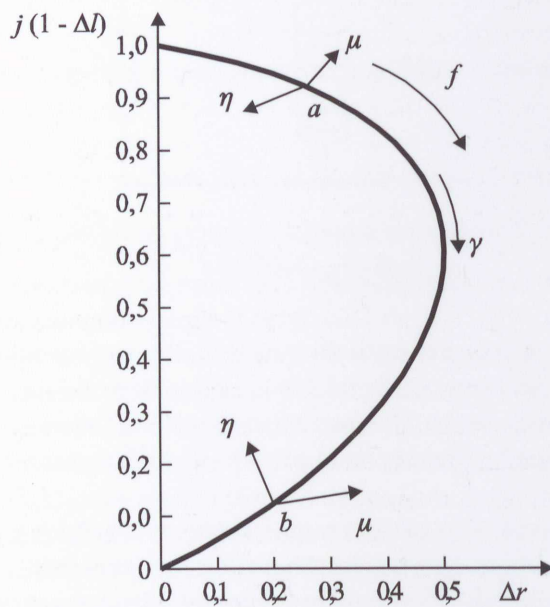
Rys. 29. Uproszczony schemat zastępczy cewki znajdującej się obok przewodnika o $\epsilon = \epsilon_0$

Na schemacie L oznacza wypadkową indukcyjność cewki, a R rezystancję wniesioną przez testowany materiał. Na rysunku 30 przedstawiono wykresy impedancji wejściowej cewki, wewnątrz której umieszczono przewodzące walce o różnych średnicach. Cienkie linie przecinają łuki w punktach o identycznej częstotliwości.

Z rysunku 30 wynika, że zmiana współczynnika wypełnienia powoduje zmiany impedancji wejściowej. Kierunek tych zmian jest określony cienkimi liniami. Kierunki zmiany impedancji wywołane różnymi przyczynami przedstawiono na rysunku 31 [4, 5]. Możliwy jest wybór optymalnej częstotliwości zapewniającej maksymalną czułość identyfikacji zmian określonych parametrów.



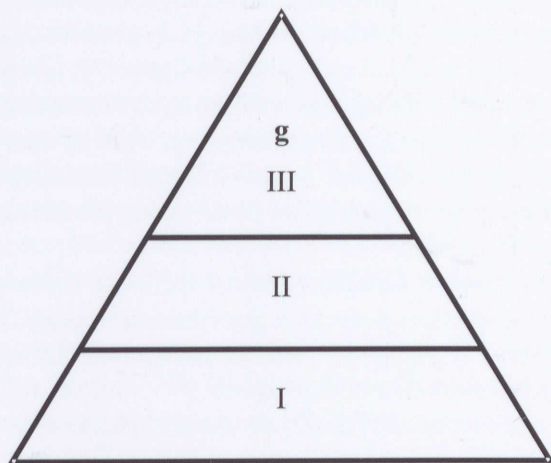
Rys. 30. Wykres impedancji dla różnych współczynników wypełnienia



Rys. 31. Kierunki zmian impedancji w zależności od różnych czynników

5. Wykorzystanie metod sztucznej inteligencji w badaniach nieniszczących

Korzystając z hierarchicznej koncepcji inteligencji [6], inteligencję naturalną w skrócie można opisać jako strukturę trójwarstwową (rysunek 32).



Rys. 32. Hierarchiczny model inteligencji

W pierwszej warstwie mieszczą się szczególne możliwości inteligencji, takie jak na przykład: umiejętności arytmetyczne, czytania, pisania, rozpoznawania prostych obrazów itp. W drugiej warstwie znajdują się umiejętności zagłomeronowane, takie jak na przykład: umiejętności werbalne, ruchowe itp. W trzeciej, najwyższej warstwie mieści się inteligencja generalna g .

Dwie pierwsze warstwy są algorytmiczne, a inteligencja g jest niealgorytmiczna. Umiejętności zawarte w warstwie g polegają między innymi na myśleniu zdroworozsądkowym, podejmowaniu abstrakcyjnych decyzji na podstawie niepełnej informacji. Pewne podobieństwo do tego postępowania wykazują metody rozwiązywania zadań odwrotnych [15]. Przy budowie układu sztucznej inteligencji należy określić, do których warstw on należy. R. Penrose [7, 8] w obu cytowanych pracach pisze, że algorytmiczną (obliczeniową) część inteligencji można zrealizować za pomocą sztucznych układów, na przykład elektronicznych, jednak obecnie w ten sposób nie można zrealizować inteligencji g .

Podjęcie decyzji na podstawie radiogramu o tym, czy obraz przedstawia poprawnie wykonany spaw, opiera się na inteligencji algorytmicznej. Można więc zbudować sztucznego eksperta, który będzie mógł skutecznie zastąpić człowieka przy ocenie radiogramu. Z przedstawionego przykładu wykonanego w ramach projektu FilmFree [10] wynika, że prawdopodobieństwo poprawnej oceny radiogramu przez układ sztucznej inteligencji nie jest mniejsze niż przez człowieka.

Problemem jest maksymalne zwiększenie tego prawdopodobieństwa. W tym celu należy przestudiować na bardziej różnorodnym materiale cechy statystyczne rzeczywistych wad i wad rzekomych. W przypadku nierozpoznania rzeczywistej wady istnieje groźba dopuszczenia do ruchu spawanych elementów z wadami. Istotą problemu jest, kto dopuści groźniejsze wady: człowiek (układ naturalnej inteligencji) czy komputer (układ sztucznej inteligencji). Jeżeli wady przeoczone przez układ sztucznej inteligencji będą mniej groźne niż wady przeoczone przez człowieka, można uznać, że układ sztucznej inteligencji działa poprawnie. Poprawiając algorytm, zjawisko przeoczenia wad można zminimalizować.

Pozostaje problem sygnalizacji nieistniejących wad. W tym przypadku układ sztucznej inteligencji może osiągnąć wyniki zdecydowanie lepsze od człowieka. Nie ma więc żadnych istotnych powodów, by do oceny jakości spawów nie używać układów sztucznej inteligencji.

Testy przeprowadzone w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki Politechniki Szczecińskiej dotyczą wprowadzie radiografii, jednak ich wyniki mogą być wykorzystane w innych technikach badań nieniszczących, na przykład elektromagnetycznych lub ultradźwiękowych.

Należy rozważyć dwa warianty: budowę układu sztucznej inteligencji przystosowanego tylko do jednej techniki badawczej lub budowę układu uniwersalnego. Drugi wariant wymaga podjęcia żmudnych prac standaryzacyjnych. Jest on jednak możliwy. Przykładem mogą służyć systemy telekomunikacyjne, w których udało się osiągnąć wysoki poziom standaryzacji. Korzystając z rozwiązań stosowanych w telekomunikacji, można budować bardzo skuteczne i uniwersalne układy sztucznej inteligencji w innych dziedzinach, w tym w badaniach nieniszczących. Rozważania prowadzone na temat układów sztucznej inteligencji na potrzeby badań nieniszczących są dobrą okazją do poczynienia kilku bardziej ogólnych uwag.

Badania nieniszczące odgrywają bardzo ważną rolę we wszystkich dziedzinach techniki i biologii. Na wstępie należy zwrócić uwagę na to, że każde badanie nieniszczące może stosunkowo łatwo przerodzić się w badanie niszczące. Tak się dzieje ze względu na nieliniowy charakter badanych układów. Przykładem może służyć radiografia. Inne techniki badawcze mogą też stanowić zagrożenie. Z tego powodu należy wiele uwagi poświęcić poziomowi użytych sygnałów.

R. Penrose zdefiniował cztery rodzaje świadomości: A, B, C i D. Opisał je w następujący sposób:

- A – myślenie zawsze polega na obliczeniach. Świadomość jest tworzona w sposób obliczeniowy.
- B – wszystkie procesy fizyczne można symulować obliczeniowo. Świadomość jest cechą fizyczną działającego mózgu. Symulacji nie towarzyszy jednak świadomość.
- C – procesy fizyczne zachodzące w mózgu powodują powstanie świadomości. Nie można ich jednak symulować obliczeniowo.
- D – świadomości nie da się wyjaśnić naukowo.

W przypadku przyjęcia stanowiska A mamy do czynienia z koncepcją silnej sztucznej inteligencji, a w przypadku koncepcji D mówimy o słabej sztucznej inteligencji. W obecnym stanie wiedzy koncepcje A i D należy odrzucić. Do dyskusji pozostają koncepcje B i C. Nie wchodząc głębiej w rozważania na temat powyższych czterech koncepcji, należy stwierdzić, że rozwój elektroniki, technologii biologicznych i informatyki będzie powodował powstanie coraz doskonalszych układów sztucznej inteligencji. Mogą to być układy oddzielone od człowieka lub wręcz zamontowane wewnątrz niego.

Przedyskutujmy bezpośrednią ingerencję w ludzki mózg. Od razu należy stwierdzić, że taka ingerencja budzi poważne opory moralne. Weźmy pod uwagę na przykład rozszerzenie możliwości mózgu. W mózg można wszczepiać implanty. Wszczepiane implanty mogą mieć naturę nieożywioną lub ożywioną. Wiele problemów usuwa się na drodze operacyjnej. Oczywiście jest pytanie, jak daleko możemy się posunąć. Nie chcąc się wikać w sprawy wątpliwe moralnie, zostawię ten problem.

Inteligencję człowieka można wyraźnie ulepszyć, wykorzystując zewnętrzny układ sztucznej inteligencji. Nie budzi to żadnych oporów. Połączenie mózgu z tym układem może być przewodowe lub bezprzewodowe. Układ, wykonując wiele obliczeń odebranych sygnałów, może przekazywać decyzje bezpośrednio do mózgu. W ten sposób układ sztucznej inteligencji zwielokrotni ludzkie możliwości intelektualne. Tak będą rozpoznawane wady i stany materii mogące je generować. Można będzie uzyskać informację, kiedy i jaka część skomplikowanej maszyny może ulec uszkodzeniu. Na podstawie tych informacji część zostanie wymieniona lub naprawiona w odpowiednim czasie.

Wykorzystując układ sztucznej inteligencji, będzie można prowadzić ciągłą diagnozę człowieka, pozwalającą na podjęcie odpowiedniej terapii we właściwym czasie. Ludzkie życie zostanie wyraźnie wydłużone. Czy do nieskończoności i czy będzie to życie w dobrej kondycji? Zgodnie z teorią wykładniczego rozwoju zaprezentowaną przez J. Gerreau [3] te osiągnięcia są w zasięgu ręki. Przewiduje on, że za kilkanaście lat życie będzie mogło być przedłużone na dowolnie długi czas.

Wszystko to ma bezpośredni związek z badaniami nieniszczącymi. Badania nieniszczące towarzyszą nam od początku istnienia. Ich wyniki ostrzegają nas przed zagrożeniami. Nasz organizm ma swój własny układ badań nieniszczących. Lekki ból, złe samopoczucie są wynikami własnych badań nieniszczących. W miarę rozwoju techniki są one rozszerzane i coraz więcej przyszłych wad może być wykrywanych z dużym wyprzedzeniem. Wykładniczy rozwój naszych możliwości może wkrótce dostarczyć narzędzi pozwalających na odpowiednio wczesne wykrywanie przyszłych zagrożeń. Wykładniczy rozwój ma jednak swoje ograniczenia, które czasami mogą być pokonane. Przykładem pokonania wcześniejszych ograniczeń jest nanotechnologia. Następna może być technologia kwantowa.

Podobnie jest w innych dziedzinach. To dzięki badaniom nieniszczącym nasze środowisko nie podlega ciągłym awariom, chociaż te badania nie zawsze zabezpie-

czają przed katastrofami. Mogą jednak ograniczać ich skutki. Przykładem mogą służyć badania sejsmiczne i atmosferyczne. Nie możemy przeszkodzić erupcji wulkanu lub przejściu huraganu, niemniej – mając odpowiednio wcześniej informację o zdarzeniu mającym zajść – możemy zminimalizować jego niekorzystne skutki.

Literatura

1. Bray D. E.: *Nondestructive Evaluation*. CRC Press 1997.
2. Cholewicki T.: *Elektrotechnika teoretyczna*. WNT 1967.
3. Garreau J.: *Radykalna ewolucja*. Prószyński i S-ka 2005.
4. Halmshaw R.: *Non-destructive Testing*. Edward Arnold, 3 East read Str. Baltimore, Maryland, 21201, USA.
5. Mc Master R. C.: *Nondestructive Testing Handbook*. Second ed., AS for NDT 1986.
6. Nęcka E.: *Inteligencja*. GWP 2003.
7. Penrose R.: *Nowy umysł cesarza*. PWN 2000.
8. Penrose R.: *Cienie umysłu*. Zysk i S-ka Wydawnictwo 2000.
9. Sikora R., Chady T., Ruciński W., Świadek K.: Radiografia cyfrowa (artykuł w przygotowaniu 2008).
10. Sikora R., Baniukiewicz P., Chady T., Ruciński W., Świadek K., Caryk M., Lopato P.: *Comparison of selected weld defect extraction methods*. QNDE Golden USA 2007.
11. Sikora R.: *Elektromagnetyczne metody testowania materii*. IBN 2003.
12. Sikora R.: *Teoria pola elektromagnetycznego*. WNT 1997.
13. Sikora R.: Algorytmy defektoskopii wiroprowodowej. *Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej* 1992, Nr 468.
14. Tadeusiewicz R.: *Sieci neuronowe*. AOW 1993.
15. Tihonov A. N., Arsenin V. J.: *Metody rešení nekorektnyh zadač*. Nauka 1974.

RECENZJA

prof. dr hab. inż. KAZIMIERZ JAKUBIUK
politechnika gdańska

Profesor Ryszard Sikora urodził się 1 października 1932 roku w Niechobrze w powiecie rzeszowskim. Studia na poziomie inżynierskim ukończył w 1954 roku w Szkole Inżynierskiej w Szczecinie. Dyplom mgr. inż. elektryka uzyskał w 1956 roku na Wydziale Elektrycznym Politechniki Śląskiej. Pracę zawodową rozpoczął w Biurze Projektów „Elektroprojekt” w Szczecinie, gdzie był zatrudniony w latach 1955–1962. W 1957 roku związał się z Politechniką Szczecińską, gdzie pracuje do dziś. Doktorat uzyskał na Politechnice Gdańskiej w 1967 roku. W 1976 roku otrzymał tytuł naukowy profesora nadzwyczajnego, a w 1986 roku tytuł naukowy profesora zwyczajnego. W okresie pracy zawodowej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Szczecińskiej pełnił różne funkcje organizacyjne. Przez dwie kadencje był dyrektorem Instytutu Automatyki Przemysłowej, a przez kilkanaście lat kierował utworzoną na Jego wniosek Katedrą Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki.

Pięćdziesięcioletnią działalność naukową Profesora Ryszarda Sikory cechowała bardzo duża aktywność oraz aktualność i ważność podejmowanej tematyki badawczej. W początkowym okresie Jego zainteresowania dotyczyły szeroko rozumianej teorii pola elektromagnetycznego. Po pojawieniu się i upowszechnieniu komputerów zainteresowania te zostały rozszerzone i uzupełnione o równie szeroko rozumiane metody i techniki komputerowe i informatyczne. Wynikiem działalności naukowej były nowe metody, koncepcje i oryginalne rozwiązania techniczne. Prawdziwe jest zatem stwierdzenie, że Profesor wniósł istotny wkład do uprawianej tematyki naukowej. Jeśli chodzi o teorię pola elektromagnetycznego, początkowo był to wkład w rozwój metod analitycznych dotyczących analizy i syntezy pola, w kolejnym okresie – w rozwój metod numerycznych analizy i syntezy. Ostatnio wkład ten dotyczy aplikacji metod polowych do nieniszczących badań struktur technicznych i biologicznych. W zakresie metod i technik komputerowych i informatycznych osiągnięcia Profesora dotyczą cyfrowej radiografii, algorytmów automatycznego rozpoznawania obrazów oraz technologii internetowych. Na szczególne wyróżnienie zasługują osiągnięcia Profesora w zakresie nieniszczących badań struktur technicznych i biologicznych.

Dorobek naukowy Profesora jest ogromny. Opublikował ponad 300 prac naukowych, z czego większość za granicą, w tym w najbardziej renomowanych czasopismach z listy filadelfijskiej, czasopismach z listy INSPEC, jak również w materiałach najbardziej prestiżowych konferencji międzynarodowych, jak na przykład COMPUMAG czy ISTET. Były to prace autorskie, ale przede wszystkim

prace zespołów naukowych, którymi Profesor kierował i z którymi współpracował. Na szczególne wyróżnienie zasługują niewątpliwie publikacje dotyczące nieniszczących badań struktur technicznych i biologicznych, wydane we współpracy Profesora z zespołami naukowymi z Japonii, Włoch, Kanady, USA i innych krajów. Na specjalną uwagę zasługuje znakomity podręcznik akademicki „Teoria pola elektromagnetycznego”, który był dwukrotnie wznawiany przez WNT, współautorstwo książek: „Computational Magnetism”, opublikowanej przez Chapman and Hall w 1995 roku w Londynie, oraz „Elektromagnetyczne metody testowania materii”, wydanej przez Instytut Z. Turek i Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu w roku 2003. W dorobku Profesora są również dwie monografie naukowe wydane w kraju i jedna za granicą (na Ukrainie). Niezwykle istotną częścią działalności naukowej Profesora jest organizowanie współpracy i kierowanie wieloma formalnymi i nieformalnymi zespołami naukowymi w kraju i za granicą. W latach 1976–1990, w ramach problemu węzłowego 05.5k, kierował grupą, która zajmowała się wykorzystaniem komputerów do obliczania rozkładów pola elektromagnetycznego. Do grupy tej należeli naukowcy z politechnik: Gdańskiej, Łódzkiej i Szczecińskiej oraz z Instytutu Elektrotechniki w Warszawie. W wyniku prac tych zespołów powstało wiele użytecznych programów komputerowych z zakresu elektrotechniki. W latach 1980–1990 w ramach Programu Badań Podstawowych 02.20 Profesor kierował pracami naukowymi dotyczącymi wykorzystania metody wiroprowodowej do badania struktury materiałów. W skład tego zespołu wchodził naukowcy z politechnik: Warszawskiej, Śląskiej i Szczecińskiej. W ostatnich kilkunastu latach Profesor kierował wieloma grantami KBN (a następnie Ministerstwa) o ambitnych i ważnych celach poznawczych i wysokich budżetach. Prace nad nieniszczącymi badaniami materiałów Profesor prowadził i prowadzi w zespołach międzynarodowych, we współpracy z uniwersytetami japońskimi (umowa R-32 pomiędzy rządami Polski i Japonii), kanadyjskimi i włoskimi. Obecnie Profesor kieruje grantem 6 Programu UE dotyczącym techniki cyfrowej radiografii i algorytmów automatycznego rozpoznawania obrazów.

Miarą uznania działalności Profesora. Ryszarda Sikory w środowisku naukowym krajowym i międzynarodowym jest Jego członkostwo w komitetach naukowych, komisjach, radach redakcji czasopism oraz nagrody i wyróżnienia uzyskiwane za działalność naukową i organizacyjną. Od kilku kadencji jest członkiem Komitetu Elektrotechniki PAN, a także rad redakcyjnych „Archives of Electrical Engineering” i „Przeglądu Elektrotechnicznego”. Należy do Rady Naukowej Instytutu Elektrotechniki w Warszawie. Przez kilka kadencji był członkiem Komisji Nagród przy Ministrze Szkolnictwa Wyższego, a przez trzy kadencje uczestniczył w pracach sekcji T10A KBN. Od roku 1993 jest przewodniczącym komitetu naukowego międzynarodowej konferencji ISTET, która – powstała z Jego inicjatywy – cieszy się rosnącym prestiżem i zainteresowaniem. Konferencja ta odbywa się kolejno w różnych krajach Europy. Profesor jest członkiem honorowym Polskiego To-

warzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, członkiem założycielem i członkiem Zarządu Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu oraz członkiem założycielem International Compumag Society.

Profesor Ryszard Sikora wykładał i wykłada przedmioty wchodzące w zakres elektrotechniki teoretycznej oraz przedmioty z nią związane, takie jak: podstawy elektrotechniki, teoria obwodów, teoria pola elektromagnetycznego, teleinformatyka, technologie internetowe, kompatybilność elektromagnetyczna itd. W wykładach uwzględnia najnowsze zdobycze nauki i techniki, w tym: proste i odwrotne zagadnienia elektrotechniki, identyfikację, cyfrowe przetwarzanie sygnałów, filtrację cyfrową, technologie internetowe, a także techniczne, ekonomiczne i psychologiczne aspekty Internetu. Profesor prowadził również wykłady z zakresu metod obliczania pola elektromagnetycznego, defektoskopii wiroprowodowej i bioelektromagnetyzmu na wielu uniwersytetach, między innymi w Japonii, Włoszech, Niemczech, Kanadzie, Grecji, ZSRR i Bułgarii.

Ogromne są osiągnięcia Profesora Ryszarda Sikory w kształceniu kadry naukowej. Ośmiu Jego wychowanków uzyskało tytuły naukowe profesora, piętnastu stopnie naukowe doktora habilitowanego. Wypromował szesnastu doktorów. Profesor utworzył bardzo liczną i aktywną szczecińską szkołę naukową elektrotechniki. Wielu Jego wychowanków pracuje w różnych ośrodkach naukowych w kraju i za granicą.

W uznaniu wyników działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej Profesor Ryszard Sikora otrzymał wiele odznaczeń, nagród i wyróżnień. Najwyższym przyznawanym Mu odznaczeniem państwowym jest Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski. Wielokrotnie uzyskiwał nagrody Ministra Edukacji, Sekretarza PAN oraz JM Rektora Politechniki Szczecińskiej. W roku 1999 został odznaczony Srebrnym Medalem Alessandro Volty, przyznawanym przez międzynarodową społeczność naukową za wybitne osiągnięcia naukowe.

Wkład Profesora Ryszarda Sikory w rozwój Politechniki Szczecińskiej, a zwłaszcza Wydziału Elektrycznego, jest bardzo duży. Utworzenie przez Profesora licznej szczecińskiej szkoły naukowej elektrotechniki przyczyniło się do znacznego zwiększenia liczby wysoko kwalifikowanej kadry naukowo-dydaktycznej Wydziału Elektrycznego. Bardzo duży dorobek naukowy tej szkoły, zarówno publikacyjny, jak i badawczy, w sposób istotny polepszył pozycję naukową i dydaktyczną i zwiększył prestiż Wydziału Elektrycznego zarówno w kraju, jak i na arenie międzynarodowej. Znalazło to bezpośrednie przełożenie na uzyskanie pełnych uprawnień akademickich Wydziału Elektrycznego, jak również na osiągnięcie wysokiej pozycji w kategoryzacji jednostek naukowych. Jest to więc wymierny i niekwestionowany wkład Profesora Ryszarda Sikory w rozwój Politechniki Szczecińskiej.

W podsumowaniu opinii z pełnym przekonaniem stwierdzam, że kandydatura Profesora Ryszarda Sikory do nadania tytułu doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej spełnia wszystkie wymagania do tego wyróżnienia. Świad-

czy o tym niekwestionowany, wybitny dorobek naukowy, autorytet posiadany w kraju i za granicą oraz utworzenie bardzo silnej, licznej szczecińskiej szkoły naukowej elektrotechniki. Profesor Ryszard Sikora swoją wieloletnią działalnością naukową i organizacyjną przyczynił się w sposób znaczący do rozwoju Politechniki Szczecińskiej. Stawiam więc wniosek o poparcie przez Senat Politechniki Gdańskiej wniosku Rady Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej o nadanie Profesorowi Ryszardowi Sikorze tytułu doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej.



RECENZJA

prof. dr hab. inż. Stanisław Wincenciak

politechnika warszawska

Profesor Ryszard Sikora urodził się w 1932 roku w Niechobrze (powiat rzeszowski). W 1946 roku zamieszkał w Szczecinie, gdzie w 1950 roku ukończył Państwową Szkołę Techniczną, uzyskując maturę i dyplom technika elektryka. W 1954 roku otrzymał dyplom inżyniera elektryka jako absolwent Szkoły Inżynierskiej w Szczecinie. Dyplom magistra inżyniera elektryka uzyskał w roku 1956 po ukończeniu Politechniki Śląskiej w Gliwicach.

Pracę zawodową rozpoczął w Biurze Projektów „Elektoprojekt” w Szczecinie, gdzie był zatrudniony do 1962 roku. W 1957 roku podjął pracę na Politechnice Szczecińskiej w Zakładzie Elektrotechniki Teoretycznej. Kierownictwo Zakładu objął w 1964 roku.

W 1967 roku uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych w zakresie elektrotechniki na Politechnice Gdańskiej. W 1971 roku został docentem, w 1976 profesorem nadzwyczajnym, a w 1986 roku profesorem zwyczajnym. Przez dwie kadencje był dyrektorem Instytutu Automatyki Przemysłowej Politechniki Szczecińskiej, a od 1990 do 2002 roku kierował utworzoną przez siebie Katedrą Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki, gdzie do dziś jest zatrudniony.

Dorobek naukowy Profesora Ryszarda Sikory jest bardzo bogaty. Obejmuje ponad 300 artykułów w uznanych czasopismach międzynarodowych i krajowych oraz w materiałach kongresów i konferencji o wysokiej randze naukowej. Profesor Ryszard Sikora jest autorem trzech wydań podręcznika akademickiego „Teoria pola elektromagnetycznego” (WNT), współautorem pracy „Computational Magnetism” (Londyn, Chapman and Hall 1995) i autorem książki „Elektromagnetyczne metody testowania materii” (Instytut Z. Turek i Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu 2003). Napisał kilka skryptów opublikowanych przez Politechnikę Szczecińską, jest też redaktorem dwóch monografii wydanych w Polsce i jednej w Kijowie.

Profesor Ryszard Sikora był promotorem szesnastu doktoratów. Piętnastu wychowanków Profesora uzyskało stopnie doktora habilitowanego, a ośmiu ma tytuły profesorskie. Na Politechnice Szczecińskiej jest obecnie zatrudnionych sześciu profesorów, którzy są Jego wychowankami. Kilku z nich pracuje na znanych uniwersytetach światowych. Profesor Ryszard Sikora był autorem licznych recenzji prac doktorskich, habilitacyjnych oraz wniosków o tytuł profesora. Dotyczy to także kilku kolegów z Zakładu Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki Stosowanej na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, w tym autora niniejszej opinii.

Profesor Ryszard Sikora wniósł bardzo znaczący wkład w rozwój elektrotechniki teoretycznej w wymiarze krajowym oraz światowym. W szczególności przyczynił się w istotny sposób do rozwoju badań dotyczących analizy i syntezy pola elektromagnetycznego. Jest uznanym na świecie autorytetem z zakresu badań nieniszczących z wykorzystaniem zjawisk pola elektromagnetycznego w materiałach o różnych własnościach. Należy do zwolenników wprowadzania obliczeń numerycznych do analizy i syntezy pola elektromagnetycznego. Profesor Ryszard Sikora doprowadził do stworzenia szczecińskiej szkoły naukowej elektrotechniki, która od około czterdziestu lat należy do najsilniejszych w Polsce, a także cieszy się renomą w świecie.

Profesor Ryszard Sikora kierował i kieruje wieloma krajowymi, a także międzynarodowymi zespołami badawczymi. W latach 1976–1990, w ramach realizacji problemu węzłowego 05.5A, prowadził grupę, która zajmowała się wykorzystaniem komputerów do obliczania rozkładów pola elektromagnetycznego. W skład grupy wchodził pracownicy naukowcy politechnik: Warszawskiej, Gdańskiej, Łódzkiej, Poznańskiej i Szczecińskiej oraz Instytutu Elektrotechniki w Warszawie. W wyniku tej działalności w poszczególnych ośrodkach powstały pakiety programów do numerycznej analizy pól elektromagnetycznych, na przykład w Szczecinie był to System Oprogramowania Numerycznych Metod Analizy Pól (SONMAP), a w Warszawie Język Analizy i Syntezy Pola Elektromagnetycznego (FAT).

W latach 1980–1990, w ramach Programu Badań Podstawowych 02.20, Profesor Ryszard Sikora kierował pracami z zakresu wykorzystania metody wiroprowodowej do badania struktury materiałów. W skład zespołu wchodził pracownicy politechnik: Warszawskiej i Śląskiej. W kolejnych latach kierował wieloma grantami KBN i wraz z najbliższymi współpracownikami brał udział w zespołach międzynarodowych z uniwersytetów japońskich, włoskich czy kanadyjskich prowadzących badania z tej tematyki. Obecnie Profesor Ryszard Sikora wraz z zespołem realizuje projekt badawczy w ramach 6th Framework Programme, dotyczący rozwoju techniki cyfrowej radiografii i algorytmów automatycznego rozpoznawania defektów. W projekcie tym uczestniczą uczeni z trzydziestu trzech czołowych ośrodków naukowych Europy.

Profesor Ryszard Sikora wykładał i wykłada przedmioty ze ścisłego zakresu elektrotechniki teoretycznej oraz przedmioty z nią związane. Są to: fizyczne i matematyczne podstawy elektrotechniki, teoria obwodów elektrycznych, teoria pola elektromagnetycznego, nieniszczące metody badania struktur technicznych i biologicznych, kompatybilność elektromagnetyczna, teleinformatyka, technologie internetowe, cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Szczególny nacisk kładzie na zastosowanie obliczeń numerycznych w analizowanych zagadnieniach z zakresu elektrotechniki. Profesor Ryszard Sikora prowadził wykłady dotyczące metod obliczania rozkładów pól elektromagnetycznych, defektoskopii wiroprowodowej i bioelektromagnetyzmu na uniwersytetach w Japonii, Włoszech, Niemczech, Kanadzie, Grecji, ZSRR i w Bułgarii.

Profesor Ryszard Sikora od wielu kadencji zasiada w Komitecie Elektrotechniki PAN, jest członkiem rad redakcyjnych „Archives of Electrical Engineering” i „Przeglądu Elektrotechnicznego”. Należy do wielu komitetów naukowych krajowych i międzynarodowych konferencji naukowych, przewodniczy też cyklicznej konferencji pod nazwą: International Symposium on Theoretical Electrical Engineering. W bieżącym roku konferencja odbyła się w Szczecinie. Współorganizatorem był Instytut Elektrotechniki Teoretycznej i Systemów Informacyjno-Pomiarowych Politechniki Warszawskiej. Profesor przekształcił tę konferencję, mającą zasięg byłych krajów RWPG, w konferencję europejską, a nawet światową.

Profesor Ryszard Sikora jest członkiem założycielem i członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, członkiem założycielem i członkiem Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu oraz członkiem założycielem International Compumag Society. Od 1956 roku aktywnie działa w Stowarzyszeniu Elektryków Polskich. Od 1999 roku należy do World Federation of Nondestructive Evaluation z siedzibą w Iowa State University (USA). W tym stowarzyszeniu jest przewodniczącym grupy zajmującej się zadaniami testowymi do sprawdzania programów komputerowych wykorzystywanych w metodzie wiropądowej badań nieniszczących materiałów.

Przez kilka kadencji Profesor Ryszard Sikora był członkiem Komisji Nagród i Zespołu ds. Elektrotechniki przy Ministrze Szkolnictwa Wyższego oraz członkiem sekcji T10A (elektrotechnika) Komitetu Badań Naukowych.

Profesor Ryszard Sikora za działalność naukową i dydaktyczną był wielokrotnie nagradzany w kraju oraz za granicą. W 1999 roku został odznaczony przez międzynarodową społeczność naukową Srebrnym Medalem Alessandro Volty. Otrzymywał wielokrotnie nagrody ministra odpowiadającego za naukę i szkolnictwo wyższe w Polsce, Sekretarza Polskiej Akademii Nauk oraz JM Rektora Politechniki Szczecińskiej. Ma odznaczenia państwowe, w tym Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski.

Ponad pięćdziesięcioletnia działalność naukowa i nauczycielska Profesora Ryszarda Sikory jest niezwykle wszechstronna, bogata i owocna. Należy On do grona wybitnych uczonych, którzy z poświęceniem tworzyli szkoły naukowe i inicjowali ambitne badania naukowe. Profesor Ryszard Sikora przez swoją niezwykłą otwartość, bezpośredniość i wielki optymizm życiowy skupia wokół siebie grono pracowników skłonnych podejmować nowe wyzwania naukowe.

Od lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku Profesor Ryszard Sikora prowadzi szeroką współpracę z Wydziałem Elektrycznym Politechniki Warszawskiej, a bardzo ścisłą współpracę naukową z grupą pracowników Zakładu Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki Stosowanej, dotyczącą metod numerycznych analizy i syntezy pola elektromagnetycznego oraz tomografii impedancyjnej i nienisz-

czących badań struktury materiałów. Współpraca ta, szczególnie w przeszłości, owocowała rozwojem kadry naukowej i tematyki badań pracowników Politechniki Warszawskiej.

Dlatego, uznając w pełni pozycję i zasługi Profesora Ryszarda Sikory dla nauki i techniki oraz dla rozwoju Politechniki Szczecińskiej, a także Jego wieloletnią wzorową współpracę z Politechniką Warszawską, proponuję Senatowi Politechniki Warszawskiej wyrażenie pełnego poparcia dla przyznania Mu tytułu doktora honoris causa Politechniki Szczecińskiej.



prof. dr hab. inż. Kazimierz Zakrzewski
politechnika łódzka

Profesor zwyczajny dr inż. Ryszard Sikora, obywatel polski urodził się 1 października 1932 roku w Niechobrze w powiecie rzeszowskim. Dzieciństwo i wczesną młodość spędził w Małopolsce Wschodniej w Kopyczyńcach (województwo tarnopolskie). W 1946 roku zamieszkał w Szczecinie, gdzie w 1950 roku otrzymał dyplom technika elektryka. Studia wyższe odbył w Szkole Inżynierskiej w Szczecinie, a magisterskie na Politechnice Śląskiej, uzyskując w 1956 roku dyplom magistra inżyniera elektryka. W latach 1955–1962 pracował w Biurze Projektów „Elektroprojekt” w Szczecinie, będąc jednocześnie zatrudnionym w Zakładzie Elektrotechniki Teoretycznej Politechniki Szczecińskiej. W 1962 roku związał się na stałe z tą uczelnią. W 1967 roku uzyskał doktorat na Politechnice Gdańskiej, w 1971 roku został docentem, w 1976 roku profesorem nadzwyczajnym, a w 1986 roku profesorem zwyczajnym.

Profesor Ryszard Sikora wykłada przedmioty wchodzące w zakres elektrotechniki teoretycznej. Obejmują one zagadnienia fizyczne i metody matematyczne wykorzystywane w teorii obwodów i teorii pola elektromagnetycznego. Od lat specjalizuje się w zastosowaniach informatyki w obliczeniach inżynierskich. Ostatnio interesuje się teleinformatyką i technologiami internetowymi. Ważną i nowoczesną dziedziną działalności dydaktycznej Profesora jest badanie struktur technicznych i biologicznych w sposób nieniszczący oraz kompatybilność elektromagnetyczna.

Profesor jest autorem podręcznika akademickiego „Teoria pola elektromagnetycznego”, który doczekał się trzech wydań (WNT), książki „Elektromagnetyczne metody testowania materii” (Instytut Z. Turek i Polskie Towarzystwo Zastosowań Elektromagnetyzmu 2003) oraz kilku skryptów uczelnianych. Początkowo kierował Zakładem Elektrotechniki Teoretycznej, następnie był dyrektorem Instytutu Automatyki. Obecnie pracuje w Katedrze Elektrotechniki Teoretycznej i Informatyki Politechniki Szczecińskiej, którą to jednostką kierował w latach 1990–2002.

Zgodnie z duchem czasu wprowadził do nauczania cyfrową obróbkę sygnałów oraz techniczne, ekonomiczne i psychologiczne oddziaływania Internetu. Wykorzystując teorię pola elektromagnetycznego, prowadził w kraju i za granicą wykłady dotyczące defektoskopii wiroprowodowej jako metody badań nieniszczących.

Profesor wykłada z pasją, potrafi zaciekawić słuchaczy, dzięki czemu liczne grono Jego wychowanków wybrało karierę naukową. Piętnastu wychowanków Profesora uzyskało stopnie doktora habilitowanego, a ośmiu tytuły profesorskie.

Profesor Ryszard Sikora stworzył szkołę naukową pola elektromagnetycznego na Politechnice Szczecińskiej, znaną szeroko poza granicami Polski. W latach 1976–1990 kierował grupą młodych pracowników z wielu ośrodków w kraju, wdrażających do

obliczeń pól elektromagnetycznych nowoczesne metody komputerowe analizy i syntezy. W szczególności Jego zespół szczeciński opracował skuteczny System Oprogramowania Numerycznego Metod Analizy Pól (SONMAP). Kierowany przez niego zespół z politechnik: Warszawskiej, Szczecińskiej i Śląskiej zajmował się badaniami struktury materiałów za pomocą metody prądów wirowych. W ramach współpracy polsko-japońskiej Profesor prowadził badania nieniszczące odpowiedzialnych urządzeń przemysłowych, organizując pobyty zdolnym pracownikom naukowym w Japonii w 1993 roku. Obecnie działa w ramach 6 Programu Ramowego badań UE.

Profesor powołał do życia International Symposium on Theoretical Electrical Engineering ISTET. Konferencja ta propaguje w wymiarze światowym także osiągnięcia pracowników Politechniki Szczecińskiej.

Profesor Sikora jest członkiem World Federation of Nondestructive Evaluation umiejscowionej w Iowa State University w USA. Jego dorobek obejmuje ponad 300 publikacji krajowych i zagranicznych, współautorstwo książki „Computational Magnetics” (Chapman and Hall 1995) i redakcję dwóch innych monografii naukowych.

Za bogatą działalność naukową Profesor był nagradzany przez Ministra Edukacji, Sekretarza PAN, JM Rektora Politechniki Szczecińskiej. Uzyskał wiele odznaczeń państwowych, w tym Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski.

Profesor Sikora jest od wielu kadencji członkiem Komitetu Elektrotechniki Polskiej Akademii Nauk, członkiem Sekcji Teorii Elektrotechniki i Sekcji Maszyn Elektrycznych i Transformatorów tegoż Komitetu. Zasiada w radach redakcyjnych „Archives of Electrical Engineering” i „Przeglądu Elektrotechnicznego”. Działal w Ministerialnej Komisji Nagród i w Komitecie Badań Naukowych. Jest członkiem honorowym Polskiego Towarzystwa Elektrotechniki Teoretycznej i Stosowanej, członkiem Polskiego Towarzystwa Zastosowań Elektromagnetyzmu i członkiem założycielem International Compumag Society.

Profesora Ryszarda Sikorę znam osobiście od ponad trzydziestu lat i podziwiam Jego nieustanną działalność twórczą, tak dobitnie odzwierciedloną w niniejszej recenzji. Podziwiam także Jego energię życiową i optymizm, którym obdarza swoich współpracowników, liczne grono przyjaciół i kolegów. Profesor oprócz pasji naukowych ma zamiłowania humanistyczne, interesuje się literaturą piękną, sam pisze, zajmuje się także historią.

Poświęcił macierzystej uczelni, Politechnice Szczecińskiej niemal całe dorosłe życie, stworzył rozwijającą się, wybitną szkołę naukową, nawiązał szeroką współpracę na forum międzynarodowym i krajowym w zakresie teorii i zastosowań elektromagnetyzmu. Wniosek Wydziału Elektrycznego Politechniki Szczecińskiej o nadanie Profesorowi dr. inż. Ryszardowi Sikorze godności doktora honoris causa popieram w całej rozciągłości.





politechnika szczecińska
al. piastów 17
70-310 SZCZECIN

ISBN 978-83-7457-047-3