

ROZWÓJ DIAGNOSTYKI I KONGRESY DIAGNOSTYKI TECHNICZNEJ W POLSCE

Marian W. DOBRY

Politechnika Poznańska, Instytut Mechaniki Stosowanej
60-965 Poznań, ul. Piotrowo3, fax.: 061 665 23 07, Marian.Dobry@put.poznan.pl

Streszczenie

W artykule przedstawiono rozwój diagnostyki i Międzynarodowych Kongresów Diagnostyki Technicznej w Polsce. Przedstawiony rozwój dotyczy okresu od początku kumulowania się wiedzy praktycznej i technologii określania stanu technicznego obiektów technicznych do uzyskania przez diagnostykę poziomu naukowego jako nowej odrębnej dyscypliny.

Słowa kluczowe: diagnostyka techniczna, kongresy, historia.

DEVELOPMENT OF DIAGNOSTICS AND DIAGNOSTIC CONGRESSES IN POLAND

Summary

Development of machinery diagnostics and International Congresses on Machinery Diagnostics in Poland are presented in the paper. Presented development is concerned with a period since beginning of cumulating practical knowledge and technology defining of technical objects condition to obtainment by Machinery Diagnostics of scientific level as a new independent discipline.

Keywords: technical diagnostics, diagnostic congresses, history.

Początek rozwoju diagnostyki technicznej, jako nauki zaliczanej do inżynierii mechanicznej, przypada na lata siedemdziesiąte. Diagnostyka techniczna jest zatem stosunkowo młodą nauką. W pierwszej połowie lat siedemdziesiątych wykształciła się ona w efekcie kumulacji praktycznej wiedzy dotyczącej eksploatacji maszyn oraz metod badawczych pozwalających określić stan techniczny obiektów technicznych w czasie eksploatacji. Nauka ta pojawiła się na początku, jako naturalna potrzeba mierzenia różnych parametrów pracy maszyn, które mogłyby sygnalizować niepoprawną pracę maszyny lub jej awarię. Zaliczyć do nich można pomiar temperatury, ciśnienia oleju w systemach smarowania, drgania i hałas. Dla tych wielkości fizycznych ustalono wartości dopuszczalne i opracowano normy zalecane do stosowania. Wszystkim nam znane są np. normy VDI 2056 i normy IRD Mechanalysis Inc. Pamiętamy również pierwszą znaną amerykańską książkę Bleke'a M. P. i Mitchell W. S.: *Vibration and Acoustic Measurements Handbook* (Spartan Books 1972), która dotyczyła bardzo praktycznych spraw związanych z pomiarami, ale bez ich postaw teoretycznych. Podstawy teoretyczne diagnostyki technicznej nie były wtedy jeszcze znane. Pierwszą książką, która w tytule zawierała słowo diagnostyka, była książka rosyjska zatytułowana: *Akustyczna Diagnostyka Maszyn* autorstwa Pavlov'a B. V., wydana w Moskwie w 1971 roku. W książce tej rozpoczęto wyjaśniać co, dlaczego i kiedy należy zrobić w diagnostyce maszyn. Był to początek monitorowania stanu technicznego maszyn w praktyce, który rozpoczął racjonalne i naukowe

myślenie, dlaczego jest tak i jakie to pociąga skutki oraz co można udoskonalić.

Aktywność w obszarze diagnostyki w przemyśle i na uczelniach wyższych odnotowano również w Polsce. Pierwsze warsztaty naukowe na temat diagnostyki maszyn odbyły się w 1973 roku i były zorganizowane przez zespół Prof. L. Muellera. Od tego momentu dziedzina diagnostyki maszyn w Polsce zaczęła gwałtownie wzrastać. Wystąpiła potrzeba organizowania więcej kursów, szkoleń i spotkań, a w 1977 roku powołano oficjalnie Zespół Diagnostyki przy Komitecie Budowy Maszyn PAN. W organizowaniu nowej dziedziny nauki – czyli diagnostyki, od początku aktywnie uczestniczył Prof. C. Cempel. Jako młodemu profesorowi, zaproponowano mu prowadzenie Zespołu Diagnostyki. Spotkania odbywały się co kwartał każdego roku, na których wygłaszano kilka referatów i wymieniano różne idee oraz wiedzę. Natomiast, co dwa lata, organizowano tzw. „Szkoly Diagnostyki”. Pierwsza Szkoła Diagnostyki zorganizowana była w 1977 r. w Białym Borze, zatytułowana: *Diagnostyka Urządzeń Mechanicznych*. Kolejne cztery Szkoły Diagnostyki – II, III, IV i V odbyły się również w Białym Borze w latach: 1978, 1979, 1980 i w 1981, a ich tematyka była następująca: *Podstawy Diagnostyki Urządzeń Mechanicznych, Metody Cyfrowej Analizy Sygnałów Wibroakustycznych, Diagnostyka Łożysek Toczących oraz Diagnostyka Pojazdów*.

Kolejne cztery Szkoły Diagnostyki VI, VII, VIII i IX zorganizowane przez zespół z Politechniki Poznańskiej odbyły się w Rydzynie koło Leszna w latach 1983, 1985, 1987 i 1989. Poświęcone one były w kolejnych latach następującej tematyce

sygnalizowanej w ich tytułach: *Komputerowe Przetwarzanie Sygnałów* oraz w trzech kolejnych latach – *Wnioskowanie Diagnostyczne*.

Ostatnia X Szkoła Diagnostyki odbyła się w 1992 r. w Zajazdkowie koło Poznania.

W międzyczasie, przeprowadzono kilka innych konferencji dedykując je dla poszczególnych branż przemysłu lub wyposażenia, jak np. silników wysokoprężnych czy maszyn roboczych ciężkich.

Cel do osiągnięcia i zakres diagnostyki był już bardzo duży, co doprowadziło do powołania Polskiego Towarzystwa Diagnostyki Technicznej w roku 1990. Liczyło ono wtedy 150 członków krajowych.

W historii rozwoju diagnostyki technicznej w Polsce, *Diagnostyka Wibroakustyczna Maszyn* (DWA) zajmuje swoje początkowe miejsce. Sformułowanie zapisu matematycznego uśredniania synchronicznego sygnałów wibroakustycznych miało miejsce właśnie na początku lat 70-tych. W celu identyfikacji uszkodzeń maszyn w diagnostyce WA wprowadzono pomiary specjalnych uszkodzeniowo zorientowanych symptomów. Do najbardziej znanych zaliczyć można zdefiniowanie takie wielkości jak: np. współczynnik impulsowości, luzu, częstości Rice'a, współczynniki harmoniczności i różnego typu kumulanty [2]. Wielkości te są stosowane do dnia dzisiejszego w diagnostyce wibroakustycznej maszyn.

W roku 1980 opracowano softwarową procedurę dyskryminacji i klasyfikacji uszkodzeń maszyn, poprzez wybór zbioru symptomów o minimalnej redundancji opisujących stan maszyny. Procedura ta oparta była o metody rozpoznawania obrazów, a w szczególności o metodę składowych głównych (PCA) macierzy obserwacji diagnostycznej i ich odpowiednich wektorów, jako nowych niezależnych symptomów uszkodzeń. Po dwudziestu latach, wraz z niebywałym rozwojem systemów obliczeniowych, które same w sobie zawierają podobne procedury; np. **SVD** (*Singular Value Decomposition*), można było powrócić do tej koncepcji proponując nową metodę wielowymiarowej i wielouszkodzeniowej diagnostyki maszyn, formułując nową symptomową macierz obserwacji i uogólnione symptomy niezależnych uszkodzeń. W klasyfikacji stanu maszyny pojawiła się konieczność określenia stanu granicznego w przestrzeni symptomów stanu obiektu. W tym celu zaproponowano kilka metod opartych o rozkłady wartości obserwowanych symptomów; np. typu Pareto, Weibulla, Frecheta. Opis tych metod można znaleźć w materiałach wielu konferencji międzynarodowych oraz w czasopiśmie naukowych takich jak: *Mechanical Systems and Signal Processing*, *Journal of Sound and Vibration*, *Bulletin PAN*, i inne krajowe czasopisma naukowe.

W klasyfikacji stanu maszyny nieodzowne jest określenie stanu granicznego w przestrzeni symptomów stanu obiektu. W tym celu do zastosowań w diagnostyce WA wprowadzono

również pojęcie niezawodności symptomowej. Pozwoliło ono później pokazać jej prosty związek z czasem awarii systemu mechanicznego. Był to moment w badaniach, aby zaproponować ogólną Metodologię Wibroakustycznej Diagnostyki Maszyn, która ukazała się w monografiach: *Podstawy Wibroakustycznej Diagnostyki Maszyn* w 1982 [2] oraz w *Wibroakustycznej Diagnostyce Maszyn* w 1989 roku [3, 4]. Wymienione wyżej koncepcje i rezultaty badań uznano w nauce jako podstawowe dla diagnostyki WA, co dało początek nowej nauce w momencie, w którym „*sztuka pomiaru i intuicja wnioskowania*” była już dobrze znana. Fakt ten, przejścia do nauki i technologii diagnozowania jest widoczny szczególnie w pracy zbiorowej zatytułowanej *Diagnostyka Maszyn – Zasady ogólne i przykłady zastosowań* wydane drukiem w 1992 [10]. Przez wiele lat była ona jedynym zasobem wiedzy teoretycznej i praktycznej w tej szerokiej dyscyplinie. Taką rolę pełni obecnie książka – poradnik liczący 1111 stron, wspólne dzieło wielu autorów zajmujących się diagnostyką w Polsce pod tytułem: *Inżynieria Diagnostyki Maszyn – Poradnik*, wydane w 2005 r. [24].

W rozwoju diagnostyki należy również wymienić prace nad modelem ewolucji stanu maszyny, niezbędnym w diagnostyce, które doprowadziły do koncepcji energetycznej ewolucji maszyn i systemów spowodowanej przez rosnące uszkodzenia materiału, elementów i podzespołów maszyny. Za miarę tych uszkodzeń przyjęto zdysypowaną i zakumulowaną wewnątrznie energię.

W efekcie ww. prac powstał w roku 1985 model tribo-wibroakustyczny opublikowany pierwotnie w WEAR [6] w Anglii, a następnie w Biuletynie PAN i w *Journal of Mechanical Systems and Signal Processing*. Model ten uogólniono na inne systemy mechaniczne, a także na inne typy systemów działaniowych. W opracowanej w ten sposób teorii Procesora Energii połączono obserwowany **symptom stanu (życia)** procesora z jego wewnętrznym zaawansowaniem (*akumulacją*) uszkodzeń z tytułu działania (życia).

Teorię tę połączono z wcześniej sformułowanym pojęciem **niezawodności symptomowej**. Dla mechanicznych procesorów energii (*materiały, maszyny, konstrukcje*) pokazano, że bezwymiarowy czas życia systemu jest odpowiednikiem prawa Palmgrena – Minera, Odkwista – Kaczanowa i odpowiednich praw dla innych form zużywania się.

Koncepcja procesora energii umożliwiła sformułowanie pojęcia **czasu życia**¹ i czasu **przeżycia** (awarii) procesora. Są to miary zdysypowanej wewnątrznie energii, mierzonej od zaistnienia systemu aż do jego likwidacji. Koncepcja to pozwoliła na wprowadzenie czasu życia innych systemów działaniowych, w których następuje

¹ Taka energetyczna definicja C Cempla została zamieszczona w *International Encyclopedia of Systems and Cybernetics*, K G Saur, Muenchien, 1997

ewolucja własności systemów (*np. zmiana masy, sztywności, tłumienia*) w czasie pracy systemu. W ten sposób sformułowano Holistyczną Dynamikę Systemów Mechanicznych, która jest przedmiotem książki pt. MODEL - AIDED DIAGNOSIS OF MECHANICAL SYSTEMS, Springer Verlag 1997 [10]. Rozwój tej koncepcji prowadzi do systemów złożonych z procesorów energii różnego przeznaczenia.

Rozwój informatyzacji diagnostyki technicznej, a w niej szczególnie informatycznych technik pomiarowych, umożliwił precyzyjne pomiary różnych wielkości fizycznych charakteryzujących stan maszyny. Zaliczyć do nich można moc zasilania, moc obciążenia, temperaturę, drgania – amplitudy przyspieszeń, prędkości i przemieszczeń, hałas, produkty procesów tarciovych w maszynach itp. W efekcie prowadzonego *on-line* nadzoru diagnostycznego uzyskuje się przestrzeń możliwych symptomów służących do scharakteryzowania pracy i ewolucji różnych uszkodzeń nadzorowanej maszyny. Dalsza obróbka uzyskanej w ten sposób bazy danych w nowoczesnych metodach transformacji i dekompozycji prowadzi do wydobycia niezależnych informacji uszkodzeniowych. Uzyskuje się w ten sposób **symptomową macierz obserwacji** badanego obiektu i uogólnionych symptomów uszkodzeń.

Jest to tematyka współczesnych badań, o których można dowiedzieć się z materiałów konferencyjnych *np.* IMEKO World Congress, June, 2003, Dubrovnik [13] i czasopism naukowych takich jak *np.* Mechanical Systems and Signal Processing. Koncepcja wyodrębniania wielowymiarowej informacji diagnostycznej z symptomowej macierzy obserwacji, w skojarzeniu z układami samouczącymi się może ułatwić zaprojektowanie agenta diagnostycznego, jako elementu samodiagnostyki systemów mechanicznych i mechatronicznych.

W zakresie prognozy stanu przyszłego proponuje się w diagnostyce technicznej metody zaczerpnięte z teorii szeregów czasowych i z ekonometrii. Metody te są obecnie wypierane przez sieci neuronowe.

W diagnostyce technicznej pojawiła się również w ostatnim czasie w Europie chińska metodologia związana z teorią szarych systemów. Dzięki niej uzyskuje się dobrą metodę prognozowania, co wykazano w pracach Cempela.

Polityczne i gospodarcze zmiany w Polsce po roku 1990 nie służyły rozwojowi Diagnostyki. Mimo tego, dalsza edukacja i badania w tej dziedzinie były kontynuowane. Potrzeby zintegrowania środowiska i wymiany wiedzy dotyczącej diagnostyki technicznej spowodowały, że Polskie Towarzystwo Diagnostyki Technicznej zorganizowało w dniach 17-20 września 1996 roku **I Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej w Gdańsku**. Organizację Kongresu powierzono zespołowi składającemu się z przedstawicieli Politechniki Śląskiej i Instytutu

Maszyn Przemysłowych w Gdańsku. Przewodniczącym KO był Wojciech CHOLEWA, wiceprzewodniczącym Jan KICIŃSKI. W Kongresie wzięło udział ponad 350 uczestników i 11 wystawców, wygłoszono 8 wykładów zaproszonych i 24 plenarnych. Opublikowano 140 artykułów w 3 tomach materiałów kongresowych i zaprezentowano 108 prac w formie posterów. Podczas trwania Kongresu odbyło się 7 specjalnych kursów diagnostycznych, na których było prezentowane wyposażenie specjalistyczne. Program socjalny Kongresu dla uczestników i osób towarzyszących był bardzo dobrze zorganizowany w kilku interesujących miejscach wybrzeża bałtyckiego i w Gdańsku.

Duży rozgłos dotyczący I Kongresu Diagnostyki Technicznej spowodował, że kolejny **II Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej** został zorganizowany wspólnie przez zespół składający się z przedstawicieli Politechniki Warszawskiej i Instytutu Energetyki w Warszawie w dniach 19-22 września 2000 roku. Przewodniczącym KO był Stanisław RADKOWSKI, a wiceprzewodniczącym Zenon ORŁOWSKI. W Kongresie wzięło udział ponad 110 uczestników, w tym kilku z zagranicy. Obrady odbywały się w 7 sesjach plenarnych z 36 proszonymi wykładami, w 4 sesjach posterowych z 87 prezentacjami. Wydrukowano dwa tomy materiałów kongresowych i załączono do nich dyski CD. Program socjalny kongresu był również interesujący, w którym uwzględniono kilka najpiękniejszych miejsc w Warszawie, jako stolicy Polski.

Kolejny, **III Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej** odbył się w dniach 6-9 września 2004 roku w Poznaniu. Organizatorem Kongresu był zespół składający się z przedstawicieli Politechniki Poznańskiej i Akademii Techniczno – Rolniczej w Bydgoszczy. Przewodniczącym KO był Marian W. DOBRY, a wiceprzewodniczącym Bogdan ŻÓŁTOWSKI. Uczestniczyło w nim ponad 110 uczestników również kilku z zagranicy, wygłoszono 108 referatów oraz 6 prezentacji dotyczących aparatury diagnostycznej wystawianej przez wystawców. Na III Kongresie wygłoszono 16 referatów plenarnych, 92 referaty sesyjne oraz odbyły się dwie sesje panelowe na temat ważnych zagadnień diagnostyki. Program socjalny związany był z prezentacją lokalnego folkloru oraz zwiedzaniem ciekawych dla uczestników miejsc regionu Wielkopolski.

Organizowane co cztery lata Międzynarodowe Kongresy Diagnostyki Technicznej stają się dobrą tradycją. Pozwalają one dokonać podsumowania dotychczasowych badań, przeglądu aktualnych trendów i nowości w diagnostyce technicznej. Zadaniem Kongresu jest również wytyczać nowe kierunki dalszych badań w zakresie diagnostyki technicznej. Mam nadzieję, że obecny, organizowany przez zespół z Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie oraz

z Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni, IV Międzynarodowy Kongres Diagnostyki Technicznej w Olsztynie w dniach 9-12 września 2008 roku, spełni oczekiwania wszystkich uczestników. Przewodniczącym KO jest Stanisław NIZIŃSKI, a wiceprzewodniczącym Zbigniew KORCZEWSKI.

Kierując do Wszystkich życzenia owocnych obrad i miłych spotkań w czasie IV Kongresu – pozostając z wyrazami poważania

– Marian W. DOBRY

LITERATURA

- Bartelmus W.: *Diagnostyka Maszyn*, Górnictwo Odkrywkowe, Wyd. Śląsk, Katowice 1998
- Cempel C.: *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*, WNT, Warszawa 1982
- Cempel C.: *Wibroakustyka Stosowana*. PWN Warszawa-Poznań 1978, wyd. II-gie 1985
- Cempel C.: *Wibroakustyka Stosowana*, wyd. II zmienione, PWN, Warszawa, 1989
- Cempel C.: *Diagnostyka Wibroakustyczna Maszyn*. Wyd. Pol. Poznańskiej 1985
- Cempel C., *The Tribovibroacoustical Model of Machines*. Wear 105, 1985, s. 297-305.
- Cempel C.: *Wibroakustyczna Diagnostyka Maszyn*, PWN Warszawa 1989,
- Cempel C.: *Vibroakustische Maschinen-Diagnostik*. Verlag Technik, Berlin, 1990,
- Cempel C.: *Vibroacoustic Condition Monitoring*, E. Horwood, Chichester - New York, 1991
- Cempel C., Tomaszewski F.: *Diagnostyka Maszyn; Zasady Ogólne - Przykłady Zastosowań - Poradnik*, Wyd. MCNEMT - Radom, 1992
- Natke H. G., Cempel C.: *Model - Aided Diagnosis of Mechanical Systems*, Springer Verlag, 1997
- Cempel C.: *Fundamentals of Vibroacoustical Condition Monitoring*, chapter 13, (pp. 324 – 253) in: *Handbook of Condition Monitoring*, edited by A. Davies, Chapman and Hall, London, 1998
- Cempel C.: *Multi fault condition monitoring of mechanical systems in operation*, XVII IMEKO World Congress, Dubrovnik June 2003, pp.1422-1425.
- Cholewa W., Kiciński J.: *Diagnostyka techniczna. Metody odwracania nieliniowych modeli obiektów*. Zeszyt KPKM nr 120, Pol. Śląska, Gliwice 2001
- Chudzikiewicz A.: *Elementy diagnostyki pojazdów szynowych*, Wyd. ITE, Politechnika Warszawska, Radom 2002
- Dybała J., Mączak J., Radkowski S.: *Wykorzystanie sygnału wibroakustycznego w analizie ryzyka technicznego*, Wyd. ITE, Warszawa-Radom 2006
- Engel Z., Plechowicz J., Stryczniewicz L.: *Podstawy wibroakustyki przemysłowej*. Wyd. Wyzd. Inż. Mech. i Rob., AGH, Kraków 2003
- IRD Mechanalysis Inc.: *Special treatments of vibration sources to reduce plant noise*. Technical Pap. No. 110, 1976
- Kiciński J.: *Modelowanie i diagnostyka oddziaływań mechanicznych, aerodynamicznych i magnetycznych w turbozespołach energetycznych*. Wyd. Instyt. Maszyn Przepływowych PAN, Gdańsk 2005.
- Michalski R.: *Diagnostyka maszyn roboczych*. ITE. Radom 2004
- Moczulski W.: *Diagnostyka Techniczna. Metody pozyskiwania wiedzy*. Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2002
- Niziński S., Michalski R.: *Diagnostyka obiektów technicznych*, Wyd. ITE, Radom 2002
- Orłowski Z.: *Diagnostyka w życiu turbin parowych*, WNT, Warszawa 2001
- Żółtowski B., Cempel C.: *Inżynieria Diagnostyki Maszyn - Poradnik*, Wyd. ITE Radom 2004
- Żółtowski B.: *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1996
- Żółtowski B., Jankowski M., Ćwik Z.: *Diagnostyka techniczna pojazdów*, Wyd. ATR, Bydgoszcz 1994



Dr hab. inż. **Marian Witalis**

DOBRY, profesor nadzw. - jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Politechniki Poznańskiej. Pełnił funkcję Prodziekana ds. Kształcenia na Wydziale Budowy Maszyn i Zarządzania (2002-2005) oraz jest kierownikiem Lab. Dynamiki i Ergonomii Metasystemu: Człowiek –

Techniczny Obiekt – Środowisko. Jego dziedzina aktywności naukowej to: Mechanika, a specjalności – Mechanika stosowana, Dynamika maszyn i systemów biologiczno-mechanicznych, Wibroakustyka, Przepływ energii i rozkład mocy w systemach mechanicznych, biologicznych i biologiczno-mechanicznych, Diagnostyka energetyczna wyżej wymienionych systemów, Biomechanika, Ergonomia, Ochrona człowieka i środowiska przed drganiami i hałasem w ujęciu konwencjonalnym i energetycznym. Jest Członkiem: Sekcji Dynamiki Układów i Biomechaniki Komitetu Mechaniki PAN, Polskiego Komitetu Teorii Maszyn i Mechanizmów PAN oraz Sekcji Technicznych Środków Transportu Komitetu Transportu PAN. Jest autorem: 1 monografii, kilku rozdziałów w monografiach, ponad 150 publikacji, kilkudziesięciu opracowań wdrożonych do przemysłu, 29 patentów krajowych i zagranicznych (w Polsce, Europie, i USA) chroniących konstrukcję wibroizolatorów WoSSO i wdrożonych do produkcji drganiowo i energetycznie bezpiecznych, ergonomicznych (10 cech) ręcznych narzędzi uderzeniowych (4 wielkości).