

## WYBRANE PROBLEMY DIAGNOSTYKI OBIEKTÓW INFRASTRUKTURY KOLEJOWEJ<sup>1</sup>

---

### Józef Gawlik

prof. dr hab. inż., Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków e-mail: jgawlik@mech.pk.edu.pl

### Piotr Gibas

mgr inż., Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków e-mail: gibas@mech.pk.edu.pl

### Marek Nowak

inż., Politechnika Krakowska, Instytut Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, al. Jana Pawła II 37, 31-864 Kraków e-mail: nowak@mech.pk.edu.pl

---

**Streszczenie.** *W artykule przedstawiono wybraną problematykę diagnostyki i nadzorowania stanu technicznego obiektów wchodzących w skład infrastruktury kolejowej. Omówiono także sposoby realizacji działań związanych z diagnozowaniem i monitorowaniem stanu konstrukcji infrastruktury kolejowej.*

**Słowa kluczowe:** *diagnostyka obiektów infrastruktury kolejowej, emisja akustyczna w diagnostyce mostów stalowych*

### 1. Wstęp

Monitorowanie stanu konstrukcji infrastruktury kolejowej wymaga zastosowania odpowiednich czujników, członów wykonawczych, układów transmisji danych i systemów obliczeniowych (sprzęt plus oprogramowanie) zintegrowanych z badanym obiektem w celu detekcji, lokalizacji, identyfikacji i predykcji rozwoju uszkodzeń, które mogą zakłócić prawidłowe funkcjonowanie obiektu teraz lub w przyszłości, a nawet doprowadzić do katastrofy. Układy te cechują się interdyscyplinarnością, bowiem bazują na wiedzy z zakresu inżynierii materiałowej, mechaniki, elektroniki, informatyki, w połączeniu z wiedzą o obiekcie i historii jego eksploatacji [8]. Owa interdyscyplinarność wymaga też specjalistycznej wiedzy, która jest niezbędna do prawidłowej analizy i oceny stanu konstrukcji.

System transportu kolejowego obejmuje drogi, pojazdy i układy sterowania. Częścią składową dróg są m. in. mosty o konstrukcji stalowej. W Polsce infrastruktura kolejowa charakteryzuje się wieloletnim okresem eksploatacji i niestety zwiększonym ryzykiem wystąpienia awarii [6]. Jej utrzymanie w stanie zdolności wymaga znaczących nakładów finansowych na bieżące naprawy i modernizację.

---

1 Wkład autorów w publikację: Gawlik J. 25%, Gibas P. 35%, Nowak M. 40%

W krajach UE, w ramach programów ramowych, było zrealizowanych kilka projektów dotyczących zapewnienia niezawodności urządzeń infrastruktury kolejowej, np.:

- RAIL - Reliability Centered Maintenance (RCM), Approach for Infrastructure and Logistic of Railway Operations, dotyczący dostosowania metodyki RCM do serwisowania urządzeń infrastruktury kolejowej;
- EUROMAIN – projekt wykonany w latach 2002-2004 z udziałem m.in. takich firm, jak: Bombardier, Alstom, Thales, Siemens. Jego celem było opracowanie i weryfikacja uniwersalnego systemu utrzymania urządzeń kolejowych na poziomie umożliwiającym monitoring i diagnostykę pojazdów szynowych wraz z infrastrukturą;
- PROMAIN (**PRO**gress in **MAIN**tenance and Management of Railway Infrastructure) - sieć tematyczna, której zadaniem było utrzymanie i zarządzanie infrastrukturą kolejową.

Producenci urządzeń infrastruktury kolejowej (Siemens, Thales, Benthley, Vosloh) oferują systemy do wspomagania zarządzania dla operatorów linii kolejowych. Ta krótka charakterystyka wskazuje, że problemy diagnostyki i nadzorowania stanu technicznego urządzeń wchodzących w skład infrastruktury kolejowej są nadal aktualne z punktu widzenia poszukiwania skutecznych metod rozwiązania tego problemu.

## 2. Systemy diagnostyczne stosowane w kolejnictwie

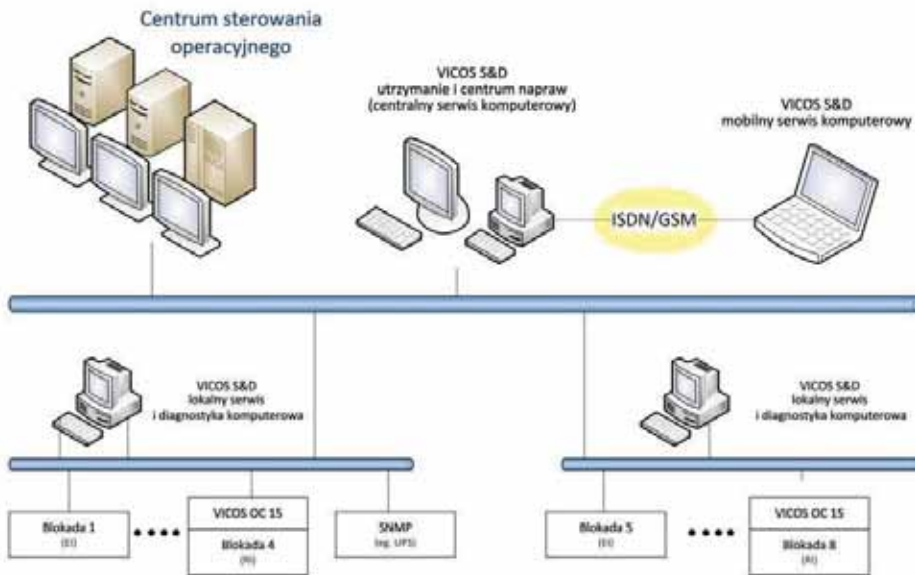
Istnieje szereg sformułowanych zaleceń odnośnie do kryteriów wyboru metody (sposobu) diagnozowania. Na ogół należy do nich:

- rodzaj uszkodzenia, które warunkuje wybór metody z uwagi na koszty diagnozy, naprawy uszkodzenia, czy też strat spowodowanych wyłączeniem obiektu z eksploatacji;
- złożoność badania diagnostycznego i związane z nią koszt aparatury oraz wymagane kwalifikacje personelu;
- możliwość adaptacji metody do monitoringu stanu badanego obiektu oraz wykorzystania wyników diagnozy do opracowania modelu diagnostycznego i prognozowania stanu obiektu.

Zapewnienie bezpiecznej eksploatacji urządzeń i pojazdów kolejowych jest złożonym przedsięwzięciem technicznym i logistycznym. Przykładem może być system do sterowania pojazdami i infrastrukturą firmy Siemens (rys. 1.) System ten obejmuje swoim zasięgiem lokalne, komputerowe podzespoły diagnostyki i serwisowania oraz mobilne serwisy komputerowe. Całość nadzoruje centralny serwis komputerowy, odpowiedzialny za utrzymanie ruchu i napraw, współdziałający z centrum sterowania operacyjnego i mobilnymi serwisami za pośrednictwem sieci (ISDN/GSM).

Realizacja działań związanych z diagnozowaniem i monitorowaniem stanu konstrukcji infrastruktury kolejowej wymaga integracji czujników, transmisji danych oraz niezbędnych obliczeń w celu detekcji, lokalizacji i oceny stopnia uszkodzenia konstrukcji [1,2,7]. Diagnoza powinna dać odpowiedź na fundamentalne pytanie, a mianowicie czy konstrukcja może być w aktualnym stanie zużycia dopuszczona do eksploatacji, czy też wysokie prawdopodobieństwo awarii uzasadnia jej wyłączenie z dalszego użytkowania.

W procesach diagnozowania współcześnie rozwijane są dynamicznie zastosowania sieci neuronowych, przede wszystkim do rozpoznawania obrazów. Stanowi to ok.70% zastosowań sieci neuronowych. Zagadnienia obejmują nie tylko analizę obrazów, lecz także ich klasyfikację, grupowanie oraz przetwarzanie [4]. Klasy są określane poprzez wzorce zapisane w sieci w procesie uczenia. Należy także podkreślić, że szereg zadań diagnostycznych może być rozwiązanych z zastosowaniem połączenia sieci neuronowych i logiki rozmytej (systemy neuro-fuzzy).



Rys. 1. Przykład systemu operacyjnego do sterowania pojazdami i infrastrukturą VICOS S&D (Vehicle and Infrastructure Control and Operating System) firmy Siemens

Źródło: opracowanie na podstawie [9]

### 3. Emisja akustyczna w diagnostyce mostów stalowych

Przykłady potwierdzające możliwość zastosowania metody emisji akustycznej do badania dużych obiektów inżynierskich, w tym mostów stalowych, można znaleźć w różnych publikacjach zagranicznych i raportach. Jednym z nich jest raport końcowy z roku 2010 projektu sponsorowanego przez Minnesota Depart-

ment of Transportation, a zatytułowanego Development of an Advanced Structural Monitoring System, opracowanego przez Department of Civil Engineering University of Minnesota. Przedstawiono w nim ogólne wytyczne dotyczące lokalnego i globalnego monitoringu metodą AE, między innymi zalecając wykorzystanie algorytmu do liniowej lokalizacji sygnałów AE w przypadku badania globalnego. W raporcie tym jest podkreślona istota umiejętności separacji sygnałów pochodzących od uszkodzeń mających wpływ na bezpieczeństwo eksploatowanej konstrukcji od całego szeregu zakłóceń.

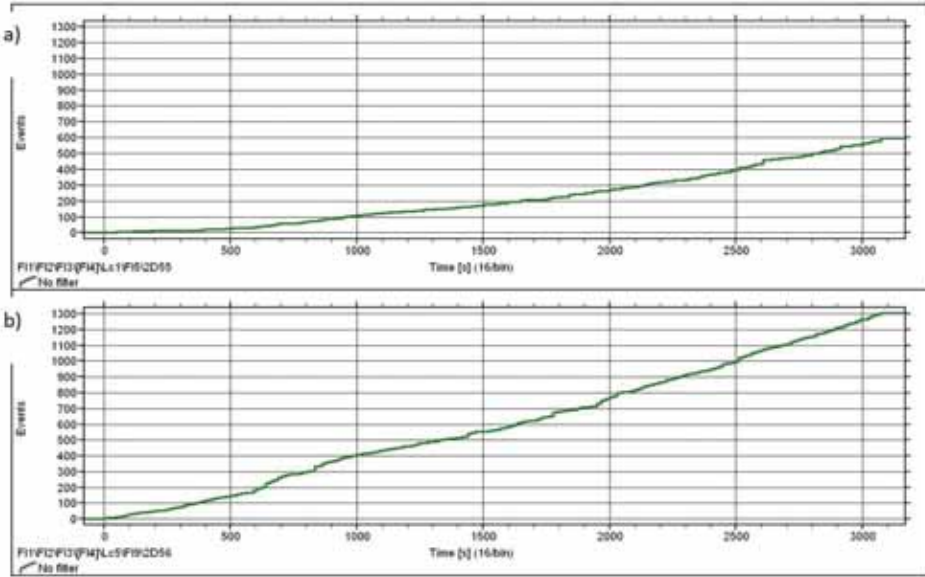
Wykorzystanie nowych metod analiz opartych o połączone analizy Short Time Fourier Transform i analizę wavelet-ów, jak również analizę parametryczną i energetyczną przedstawiono w referacie [3], poświęconym separacji sygnałów AE zarejestrowanych podczas badania laboratoryjnego na belce stalowej o długości 4 metrów.

Potrzebę i możliwości wykorzystania metody AE do badania i monitorowania stanu technicznego obiektów mostowych dostrzegła również Komisja Europejska, która w ramach 7-go Ramowego Programu finansuje obecnie projekt „Wi-Health - Structural Health Monitoring for Bridges”. Projekt, realizowany przez konsorcjum firm i ośrodków badawczych głównie brytyjskich, a także z Dani, Cypru i Francji od 2011 roku ma na celu zastosowanie połączonych metod emisji akustycznej oraz metody ultradźwiękowej dalekiego zasięgu (Long Range Ultrasonic) dla zapewnienia bezpiecznej eksploatacji obiektów mostowych i zoptymalizowania planowanych prac naprawczych. Pierwsze pozytywne rezultaty zostały przedstawione w artykule SP. Santospirito, R. Walker, K. Słyk pt. Structural health monitoring of bridges by AE events to optimize maintenance scheduling and improve bridge load management.

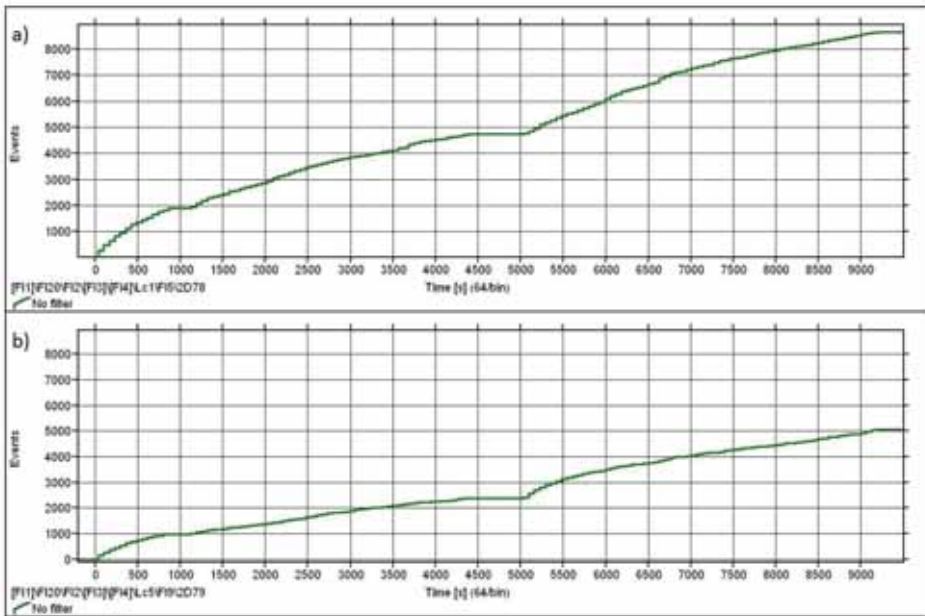
Przydatność wykorzystywania metody AE w badaniach trudnych konstrukcyjnie obiektów jest również potwierdzona poprzez wyniki projektu europejskiego w ramach 7 Programu Ramowego, zrealizowanego przy współdziałaniu Laboratorium Badań Stosowanych Politechniki Krakowskiej pt. Cost effective corrosion and fatigue monitoring for transport products. Jednym z celów zastosowania metody AE było badanie i monitoring konstrukcji statków oraz cystern kolejowych i samochodowych pod kątem pęknięć występujących w środowisku korozyjnym.

Drugim przykładem przedstawiającym możliwość zastosowania metody AE do ujawniania uszkodzeń korozyjnych jest również badanie zrealizowane przez Laboratorium Badań Stosowanych Politechniki Krakowskiej na obiekcie mostowym, składającym się z dwóch równolegle posadowionych mostów o zróżnicowanym stanie technicznym wynikającym z faktu, iż jeden z nich został zbudowany po kilkunastoletniej eksploatacji pierwszego z nich, jako rozbudowa istniejącej linii kolejowej. Celem tych badań było między innymi sprawdzenie możliwości lokalizacji sygnałów pochodzących od uszkodzeń korozyjnych konstrukcji mostu, sprawdzenie wpływu stopnia degradacji korozyjnej materiału rzeczywistych konstrukcji na intensywność rejestrowanych sygnałów, określenie wpływu obciążania konstrukcji (przejazdu pociągów) oraz zmiennych warunków środowiska (zmiana temperatury i wilgotności) na rejestrowane sygnały emisji akustycznej (AE).

Do lokalizacji źródeł AE na obiektach mostowych wykorzystywano algorytm do lokalizacji liniowej (linear), znajdujący się w pakiecie oprogramowania VisualAE firmy Vallent.



Rys. 2. Ilości zarejestrowanych zdarzeń AE (Events) w czasie pomiaru tła akustycznego na przęśle o gorszym stanie technicznym (a) oraz o lepszym stanie technicznym (b)



Rys. 3. Ilości zarejestrowanych zdarzeń AE (Events) po użyciu aktywatora korozyjnego na przęśle o gorszym stanie technicznym (a) oraz o lepszym stanie technicznym (b)

Na rys. 2 i 3 przedstawiono ilości zdarzeń (events) dla sygnałów zarejestrowanych na dwóch równoległych przęsłach w czasie pomiaru tła oraz po zastosowaniu aktywatora korozyjnego na obu przęsłach. Jest wyraźnie widoczna różnica w ilości zarejestrowanych zdarzeń AE po użyciu aktywatorów, co przejawia się większą liczbą zdarzeń AE na przęsle o gorszym stanie technicznym przy mniejszej liczbie zdarzeń w czasie pomiaru tła. Wynik ten pokazuje wpływ stanu technicznego konstrukcji na ilość rejestrowanych sygnałów AE. Przykłady innych wyników pomiarów zostały przedstawione w artykule [5]. Na wykresie (rys. 3) zarejestrowano sygnały po użyciu aktywatorów korozyjnych w sytuacji, kiedy ujawniły się już procesy korozyjne na zdegradowanej konstrukcji, a różnica pomiędzy ilością sygnałów przed i po zastosowaniu aktywatorów jest duża. Natomiast dla konstrukcji bez uszkodzeń korozyjnych użycie aktywatorów nie wpłynęło na liczbę rejestrowanych sygnałów AE.

#### 4. Podsumowanie

Infrastruktura kolejowa jest złożonym systemem, na który składają się urządzenia techniczne o zróżnicowanej konstrukcji oraz stopniu automatyzacji, które są eksploatowane w zmiennych warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych, oddziaływań atmosferycznych, temperatury, itd. Zużycie elementów i układów tej infrastruktury następuje z różną intensywnością i dlatego diagnostyka ich stanu wymaga zróżnicowanych metod. Wobec ograniczonej objętości referatu skoncentrowano się tylko na wybranych aspektach diagnostyki, ze szczególnym zwróceniem uwagi na możliwość zastosowania sygnału emisji akustycznej do diagnozowania zużycia korozyjnego.

W odniesieniu do mostów o konstrukcji stalowej nie został dotychczas skutecznie rozwiązany problem identyfikacji, lokalizacji i oceny stopnia zużycia korozyjnego, występującego wewnątrz materiału. Sytuacja, w której korozja może uszkodzić znaczną część konstrukcji, ale nie jest jeszcze widoczna na zewnątrz jest szczególnie niebezpieczna, bowiem może prowadzić do katastroficznego uszkodzenia obiektu. Opracowana i zweryfikowana pozytywnie w Laboratorium Badań Stosowanych na Wydziale Mechanicznym Politechniki Krakowskiej, a także na obiektach przemysłowych (ze wskazaniem o dopuszczeniu ich do dalszej eksploatacji lub wyłączeniu z eksploatacji z uwagi na możliwość wystąpienia awarii), metoda diagnozowania zużycia korozyjnego z zastosowaniem emisji akustycznej może być również wykorzystana do diagnostyki i nadzorowania stanu mostów o konstrukcji stalowej. Wymaga to opracowania odpowiednich wzorców i ich weryfikacji w warunkach eksploatacyjnych. Badania takie są przewidziane we wspólnym projekcie z PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. w Programie Badań Stosowanych finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

## Literatura

- [1] Czech J., Wybrane metody i narzędzia diagnostyki obiektów technicznych. UTRZYMANIE RUCHU 1/2011. DIAGNOSTYKA, s. 8-12.
- [2] Firlik B., Czechya B., Symulacyjne podstawy metody monitorowania stanu technicznego toru tramwajowego. Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej, z. 84 Transport 2012, s. 29-39.
- [3] Kaphle Manindra R., Tan Andy, Thambiratnam David, Chan Tommy H.T., Analysis of acoustic emission data for structural health monitoring application. 6 Australasian Congress on Applied Mechanics (ACAM 6), Melbourne, 2010.
- [4] Knosala R., Zastosowania metod sztucznej inteligencji w inżynierii produkcji. WNT, Warszawa 2002.
- [5] Nowak M., Gawlik J., Schmidt J., Przydatność oceny emisji akustycznej w ocenie stanu mostów kolejowych o konstrukcji stalowej – wyniki zastosowania i propozycje rozwoju. Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie. Nr 96 (Z.158), Kraków 2011, s.353-366. ISSN 1231-9155.
- [6] Pełka A., Diagnozowanie urządzeń sterowania ruchem kolejowym na przykładzie napędu zwrotnicowego. Praca doktorska, WIMiR, AGH Kraków 2009 (promotor T. Uhl).
- [7] Surowiecki A., Kozłowski W., Wasiak M., Grabowski L., Analiza stanu naprężeń w podkładzie kolejowym, jako funkcja parametrów podłoża. Zeszyty Naukowo-Techniczne SITK RP, Nr 158, s. 519-529, Kraków 2011.
- [8] Uhl T., Współczesne metody monitorowania i diagnozowania konstrukcji. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków, s.193 254.
- [9] VICOS S&D, The Efficient Information System for Service and Diagnosis in Automated Railway Systems, Siemens.