

Zbigniew Durzyński

# Diagnozowanie i prognozowanie stanu technicznego podzespołów napędu trakcyjnego

**W artykule przedstawiono część wyników prac przeprowadzonych przez Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu w ramach projektów badawczych i rozwojowych. Dotyczyły one nowoczesnych technik sterowania i diagnozowania stanu pojazdów szynowych.**

## Architektura pojazdu [3]

Schemat architektury całego pojazdu trakcyjnego przedstawiony został na rys. 1. Prawie wszystkie podzespoły i urządzenia posiadają bardziej lub mniej rozbudowane nowoczesne sterowniki mikroprocesorowe, umożliwiające przystosowanie ich modułów wyjściowych do współpracy z układem sterowania i diagnostyki na poziomie pojazdu.

Wszystkie wchodzące w skład pokazanego schematu systemy i urządzenia mogą ulegać uszkodzeniom w zasadzie z trzech powodów:

- ❑ normalnego zużycia eksploatacyjnego (łatwego do prognozowania) i przeciwdziałania jego skutkom;
- ❑ wad konstrukcyjnych i materiałowych, które ujawniają się w różnych okresach eksploatacji;
- ❑ niewłaściwej eksploatacji (np. stosowanie niewłaściwych części zamiennych, materiałów eksploatacyjnych, niewłaściwych narzędzi czy metod naprawy).

Napęd główny pojazdu składa się zasadniczo z trzech segmentów: zasilania, napędu elektrycznego (trakcyjnego) i mechanicznego (biegowego). Blok zasilania przedstawiono na rys. 2, a napędu trakcyjnego na rys. 3. Kolejnym istotnym blokiem jest blok układu biegowego (przedstawiony na rys. 4).

## Typowe uszkodzenia

W obu układach związanych z napędem pojazdu można wyróżnić określoną grupę uszkodzeń, które prowadzą do ograniczenia zdolności trakcyjnych (tzw. alarm żółty) lub do wyłączenia napędu i zatrzymania pojazdu (tzw. alarm czerwony).

Układy, jakie pokazano w głównych blokach, można przedstawić następująco:

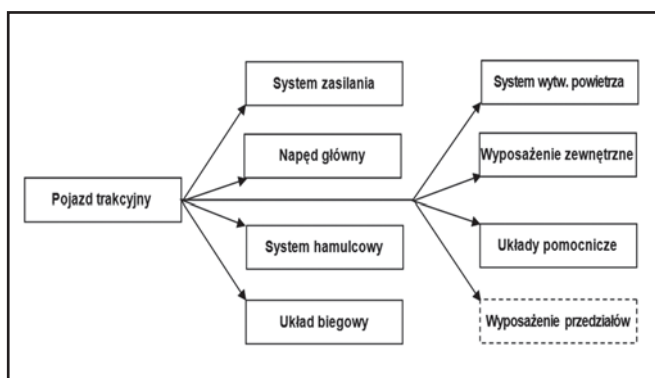
## Elementy zasilania elektrycznego

(na rys. 3 ujęto dla porządku także elementy napędu spalinowego, lecz dalej omówione zostaną tylko elementy zasilania elektrycznego):

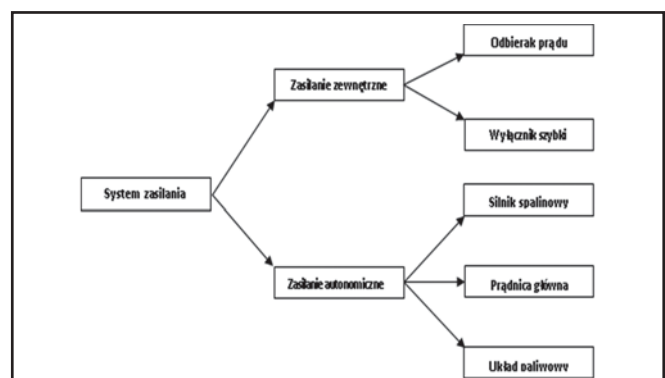
- a) odbierak prądu: producenci odbieraków prądu określają czas pracy, po upływie którego należy podczas przeglądów okresowych dokonywać odpowiednich czynności przewidzianych w instrukcji eksploatacji (ogłędziny, czyszczenie, smarowanie, regulacje itp.). W procesie prognozowania nie da się przewidzieć sytuacji ekstremalnych, np. uszkodzenia odbieraka wskutek wjechania pojazdu na uszkodzony odcinek sieci trakcyjnej [8]. W prognozowaniu uwzględniane będą charakterystyczne objawy, które mogą wskazywać na rozwijanie się niebezpiecznych zjawisk, co może prowadzić do uszkodzenia. Należą do nich (z przyczyn leżących po stronie odbieraka):
- wydłużony czas podnoszenia/opuszczania:
    - ❖ uszkodzenie w instalacji pneumatycznej,
    - ❖ zbyt duże tarcie w łożyskach,
    - ❖ uszkodzony amortyzator,
    - ❖ niekontrolowane opuszczenie i brak możliwości podniesienia, spowodowane zadziałaniem układu automatycznego opuszczania (ADD) (np. wykrycie zużycia nakładki ślizgowej);
  - przerwy w przepływie prądu:
    - ❖ uszkodzony regulator docisku,
    - ❖ zbyt mała siła docisku,
    - ❖ brak równoległości ślizgów i przewodu jezdnej sieci trakcyjnej,
    - ❖ zbyt duże tarcie w łożyskach,
    - ❖ przeskoki ładunku na dach pojazdu wskutek zabrudzenia lub uszkodzenie izolatorów.

Parametry podlegające bieżącej kontroli i rejestracji w czasie rzeczywistym to:

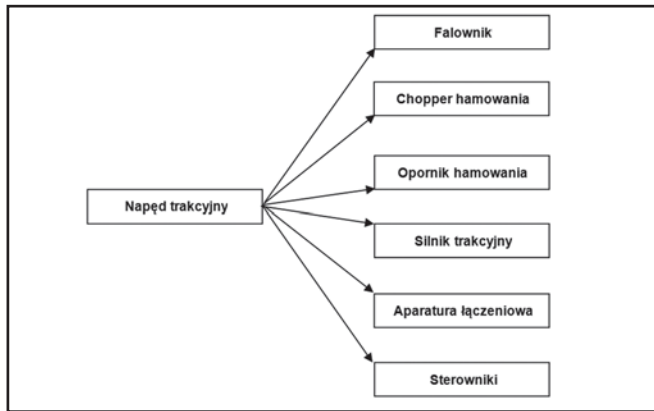
- napięcie sieci trakcyjnej,
- prąd pobierany z sieci trakcyjnej,



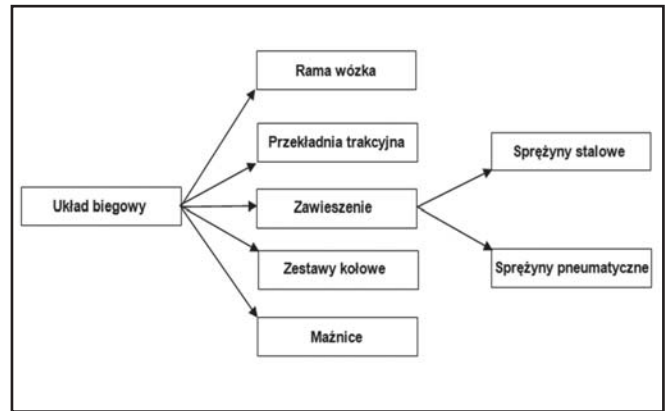
Rys. 1. Schemat architektury pojazdu



Rys. 2. Blok zasilania elektrycznego



Rys. 3. Blok napędu trakcyjnego



Rys. 4. Blok układu biegowego

- ciśnienie w siłowniku odbieraka prądu,
- ciśnienie w zbiorniku odbieraka (lub odbieraków),
- sygnał ADD;

b) **wyłącznik główny:** nowoczesne wyłączniki główne (szybkie) budowane są zarówno w wersji ze stykami w komorze łukowej, jak i ze stykami umieszczonymi w komorze próżniowej. Te drugie wyposażone są już w wielofunkcyjne sterowniki mikroprocesorowe z funkcjami diagnostycznymi. Ocena stanu wyłącznika dotyczy zatem sprawności urządzeń towarzyszących: obecności napięcia sterowania, nadmiernej częstości łączeń w sytuacjach niesprawności urządzeń zasilanych przez ten wyłącznik. Ze względu na brak w tej konstrukcji elementów zużywających się prognozowanie stanu wyłącznika nie jest priorytetowym zadaniem wewnętrznego układu diagnostyki wyłącznika.

W wersji z klasycznym układem styków mechanicznych diagnozowany może być stan tych styków, zależny od liczby łączeń i wartości wyłączanych prądów. Istotny – ze względu na możliwość wystąpienia usterki – jest stan komory łukowej, decydującej o prawidłowym przebiegu wyłączania prądów roboczych oraz prądów zwarciovych, co wpływa z kolei na żywotność innych aparatów obwodu wysokiego napięcia;

### Elementy napędu trakcyjnego:

a) **przekształtniki:** wyposażone są w moduły kontroli pracy, realizujące tzw. autotesty po załączeniu układu, kontrolę sprawności czujników i przetworników pomiarowo-kontrolnych oraz stały monitoring pracy systemu napędowego. Występujące zakłócenia w pracy tych układów są spowodowane głównie ustawkami ww. elementów kontrolno-pomiarowych, uszkodzeniami elementów półprzewodnikowych, a czasami układów chłodzących zasilanych napięciem średnim lub zakłóceniami ich układów sterowania zasilanych napięciem niskim. Sygnały o wszystkich stwierdzonych nieprawidłowościach są przekazywane do centralnego systemu sterowania i diagnostyki i wyświetlane na panelu operatorskim na pulpicie maszynisty;

b) **oporniki hamowania ED:** ich dopracowana konstrukcja z reguły wyklucza powstawanie usterek uniemożliwiających poprawną pracę całego układu. Zdarzające się usterki to z reguły awarie ich układu chłodzenia, np. brak napędu wentylatora. Tego typu awarie mogą być rozpoznawane prostymi sposobami różniącymi brak przepływu energii (przełączniki prądowe) lub powietrza w kanale wentylacyjnym i są sygnalizowane w układzie diagnostycznym.

W przypadku ekstremalnych warunków atmosferycznych mogą się zdarzyć zanieczyszczenia izolatorów wsporczych (w przypadku mocowania nad żaluzjami wylotu powietrza do atmosfery w kierunku

podtorza), prowadzące do przebicia izolacji i wyłączeń odpowiednio zabezpieczonego *choppera*. Ze względu jednak na stosowanie hamulca redundantnego nie stwarza to konieczności zatrzymania pojazdu;

c) **silniki trakcyjne:** stosowane w nowoczesnych pojazdach kolejowych silniki trakcyjne są głównie silnikami asynchronicznymi, praktycznie bezobsługowymi. Podzespołami mogącymi ulec awarii są łożyska i zabudowane w silniku czujniki pomiarowo-kontrolne (prędkości obrotowej, temperatury). Sporadycznie mogą zdarzyć się uszkodzenia uzwojeń (przebicie izolacji, zwarcie międzyzwojowe). Stany takie wykrywane są poprzez monitorowanie *online* parametrów wyjściowych falownika zasilającego silnik. W przypadku nadal eksploatowanych silników prądu stałego w napędzie głównym do listy uszkodzeń dochodzą niewłaściwa komutacja wynikająca ze złego stanu komutatora i szczotek, zawilgocenie uzwojeń, przebicia na szczotkotrzymaczach, przebicia izolacji i zwarcia międzyzwojowe twornika;

d) **aparatura łączeniowa:** w układach napędów elektrycznych nowej generacji, zasilanych z przekształtników energoelektronicznych, rola styczników ogranicza się do operacji bezprądowych. Służą one głównie do zmiany konfiguracji układów, ładowania kondensatorów filtrów sieciowych itp. Ich podatność na uszkodzenia jest znikoma, nie wymagają one monitorowania *online* i wystarczające w odniesieniu do nich jest skrupulatne przeprowadzanie prac zgodnie z cyklem przeglądowo-naprawczym.

Na podstawie danych pochodzących z systemu diagnostycznego lokomotywy można wyznaczyć następujące wskaźniki służące do oceny stanu technicznego stycznika liniowego:

- łączna liczba załączeń,
- średnia częstość załączeń,
- średni czas między załączeniami,
- liczba załączeń przy niewłaściwym ciśnieniu,
- liczba wyłączeń przy  $I > I_{min}$ ,
- liczba wyłączeń przy  $I > I_{nom}$ .

Prosty strumień danych diagnostycznych nie zapewnia zapamiętania wskaźników w celu obsłużenia całego okresu eksploatacyjnego stycznika oraz umożliwienia tworzenia trendów. Dane takie powinny być wyliczane i zapamiętywane w systemie sterowania lokomotywy i przekazywane bezprzewodowo do stacjonarnego systemu akwizycji w określonych odstępach podyktowanych wielkością pamięci nieulotnej w systemie lokomotywy [9];

e) **sterowniki:** wyposażone są w układy wewnętrznej autodiagnozy (autotesty). Sprawdzane są zwłaszcza warunki napięciowe, ciągłość torów

miarowych czujników i przetworników oraz zgodność bitów w zainstalowanych programach;

- f) *zasilanie i napędy pomocnicze*: nie są to *sensu stricto* elementy napędu trakcyjnego, lecz ich stan ma duży wpływ na prawidłowe funkcjonowanie tego napędu. **Przetwornice pomocnicze** (kiedyś prądnice wirujące) zbudowane są w podobnej technologii jak przekształtniki trakcyjne, zatem do przetwornic (w zakresie ich usterkowości) odnoszą się te same uwagi co do przekształtników trakcyjnych.

**Wentylatory silników trakcyjnych** są istotnym składnikiem napędów pomocniczych. Stosowane są dwa rodzaje wentylacji silnika trakcyjnego:

- w układzie samoprzewietrzalnym (wentylator na osi silnika) – stosowany głównie w zespołach trakcyjnych, w których praktycznie nie występuje długotrwały okres pracy z małymi prędkościami obrotowymi silnika;
- z chłodzeniem zewnętrznym przez wentylator zabudowany wewnątrz lokomotywy, tłoczący powietrze poprzez kanały wentylacyjne – stosowany głównie w lokomotywach, zwłaszcza manewrowych.

W związku z powyższym niesprawności tego układu mogą dotyczyć:

- układu zasilania silnika wentylatora,
- nieszczelności kanałów wentylacyjnych, zwłaszcza w obszarze przejścia między wózkiem a pudłem lokomotywy,
- nieszczelności na kołnierzu wlotowym samego silnika,
- poluzowania łopatek wirnika w silniku samoprzewietrzalnym.

*Wentylator oporników* prawidłowo skonstruowany i dobrany praktycznie nie ulega awariom. Sporadycznie zdarzające się w eksploatacji przypadki uszkodzeń dotyczą mocowania łopatek wentylatora, zwłaszcza w przypadku, gdy układ zasilania silnika wentylatora nie zapewnia odpowiednio łagodnego rozruchu.

*Akumulatory* w nowoczesnych pojazdach trakcyjnych są typu bezobsługowego – praktycznie nie ulegają awariom. Zdarzające się przypadki uszkodzeń dotyczą w zasadzie mechanicznego uszkodzenia płyt. Przypadki braku napięcia na zaciskach baterii akumulatorów spowodowane są w praktyce brakiem odpowiedniego ładowania ze źródła [6];

## Elementy układu biegowego:

- a) *rama wózka*: rama przechodzi dokładne badania statyczne i zmęczenie na stanowiskach badawczych, zatem jej przypadkowa usterka, bez przyczyn zewnętrznych, praktycznie nie wchodzi w rachubę. Potencjalne zagrożenie wystąpienia usterek/awarii związane jest z kluczowymi podzespołami wózka, dlatego dalsza analiza koncentrowała się na tych podzespołach;
- b) *przekładnia trakcyjna*: elementami podatnymi na niesprawności i degradację są koła zębate i łożyska przekładni. Wykrycie nieprawidłowości jest możliwe poprzez analizę widmową drgań zmierzonych w łożyskach przekładni;
- c) *łożyska maźnic*: pogorszenie stanu łożysk maźnic jest poważnym zagrożeniem dla bezpieczeństwa systemu kolejowego, zatem diagnozowanie tego węzła ma kluczowe znaczenie. Monitorowanie stanu łożysk zostało uznane jako podstawowy warunek bezpieczeństwa, dlatego uruchomiony został europejski program instalowania w torze systemu wykrywającego podwyższoną temperaturę maźnic: tzw. HABB (*hot axle box detection*). Innym stosowanym w lokomotywach sposobem monitorowania stanu maźnicy jest wbudowywanie w korpus maźnic czujników temperatury [1].
- Pomiar temperatury stosowany jest także do oceny łożysk w innych

układach pojazdu: silnika trakcyjnego (o czym mowa w innym punkcie artykułu), przekładni trakcyjnej (np. na dużym kole zębatym) oraz w łożyskowaniu wału drążonego napędu trakcyjnego;

- d) *zestawy kołowe*: może wystąpić w nich kilka groźnych stanów:
- niestabilność biegu w wyniku szczególnych warunków współpracy na styku koło–szyna. Nie jest to *sensu stricto* awaria, ale stan zagrożenia, który można zlikwidować poprzez odpowiednie, natychmiastowe działanie. W pociągach wyższej klasy wymagany jest stały monitoring i na podstawie pomiaru przyspieszenia mierzonego na ramie wózka oceniana jest stabilność biegu; w przypadku zagrożenia może być wdrażany układ obniżenia prędkości;
  - wzrost wartości poprzecznej siły prowadzącej na kole zestawu (może prowadzić nawet do wykolejenia). Wartość jest w warunkach eksploatacyjnych trudna do rejestrowania, w związku z tym metodą zastępczą jest pomiar drgań zestawu kołowego;
  - jednoznaczny defekt zestawu kołowego, czyli np. płaskie miejsce prowadzące do niestabilności biegu, uszkodzeń elementów wózka, degradacji toru. Skuteczną metodą monitorowania jest metoda pomiaru drgań na maźnicy zestawu kołowego;
  - poligonizacja koła. Monitorowanie polega na pomiarze odchyłki bicia promieniowego metodą pośrednią poprzez pomiar przyspieszeń na korpusach lub łożyskach maźnic;

- e) *zawieszenie sprężyste I i II stopnia*: wpływa ono zarówno na komfort jazdy, jak i na bezpieczeństwo pojazdu. Uszkodzenia w I stopniu usprężynowania przekłada się na zjawiska opisane przy zestawie kołowym. W II stopniu usprężynowania stosowane są zarówno sprężyny stalowe (głównie w lokomotywach), jak i tzw. poduszki pneumatyczne (w zespołach trakcyjnych). Uszkodzenia poduszek powietrznych polegają głównie na ich rozszczelnieniu oraz na usterekach ich układu sterowania, którego zadaniem jest utrzymywanie stałej wysokości podłogi, niezależnie od obciążenia pasażerami. Ich konstrukcja zapewnia bezpieczne warunki jazdy nawet przy ich całkowitym opróżnieniu, przy ograniczonej przez układ sterowania lub maszynistę prędkości.

Według wymagań Technicznej Specyfikacji Interoperacyjności (TSI), ujętej w Dyrektywie 96/48/EC, monitoring wózka winien obejmować:

- stabilność biegu wózka (realizowaną ciągle lub z częstotliwością zapewniającą niezawodne i wczesne wykrycie uszkodzeń),
- stan łożyskowania zestawów kołowych (sprzęt musi być w stanie wykryć pogorszenie się stanu łożyskowania osi poprzez śledzenie temperatury i/lub częstotliwości dynamicznych drgań),
- stan zestawu kołowego (dokonywany za pomocą czujnika drgań zabudowanego na obudowie łożyska osi).

## Metody diagnozowania stanu technicznego

Badania diagnostyczne pojazdów szynowych można klasyfikować na podstawie różnych kryteriów. Do najważniejszych należy zaliczyć poziom automatyzacji i czas trwania pomiarów.

Na podstawie kryterium poziomu automatyzacji można wyróżnić następujące kategorie [12]:

- ❑ badania manualne, podczas których rola człowieka polega na wykonywaniu czynności związanych z pomiarami, analizą oraz archiwizacją wyników, a także wizualizacją i formułowaniem oceny stanu technicznego;
- ❑ badania na stanowiskach skomputeryzowanych: dzięki łatwej archiwizacji wyników umożliwiają one sporządzenie charakterystyk zmian parametrów diagnostycznych. Jest to szczególnie istotne w przypadku

badania szybkozmiennych parametrów diagnostycznych, jak również w sytuacji, gdy ważny jest kształt charakterystyki ich zmian.

Badania diagnostyczne charakteryzują się mnogością metod i środków. Podstawą oceny stanu technicznego pojazdu jest uzyskanie pomiarów wykonanych zarówno przy użyciu prostych urządzeń, jak i tych bardziej skomplikowanych, ponieważ dopiero to daje nam obraz badanego obiektu i pozwala na opracowanie metody optymalizującej działanie danego układu.

Zastosowanie w procesie eksploatacji metod rozpoznawania stanu pojazdów i maszyn roboczych wymaga optymalizacji:

- zbioru parametrów diagnostycznych,
- testów i programów diagnostycznych,
- metod ustalania przyczyn i prognozowania.

Rozwiązanie tych zadań zależy od wielu czynników związanych:

- ✱ ze stopniem złożoności maszyn,
- ✱ z wykorzystaniem obserwacji wielosymptomowych,
- ✱ z jakością procesu eksploatacji oraz procesu zużycia.

Rozpoznawanie stanu pojazdów i maszyn roboczych to proces, który ułatwia określenie technicznego stanu urządzenia w czasie bieżącym na podstawie wyników badań diagnostycznych. Elementami tego procesu jest opracowanie:

- a) zbioru parametrów diagnostycznych w zależności od czasu pracy maszyny, wartości kroku czasowego i liczebności optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych,
- b) metody wyznaczania testów i programów diagnostycznych w zależności od wiarygodności diagnozy, ilości informacji, prawdopodobieństwa uszkodzenia zespołów maszyny i kosztu testu lub programu diagnostycznego,
- c) metody prognozowania w zależności od horyzontu prognozy, minimalnej liczby elementów szeregu czasowego niezbędnej do uruchomienia predykcji oraz czasu pracy maszyny,
- d) metody ustalenia genezy zjawisk w zależności od horyzontu genezy, minimalnej liczby elementów szeregu czasowego, niezbędnych do opracowania genezy oraz wyznaczenia czasu pracy maszyny.

Rozpoznanie stanu pojazdów, badanie dynamiki ich konstrukcji, wysokie wymagania odnośnie do sprawności oraz przepisy prawne dotyczące bezpieczeństwa i ochrony środowiska decydują o ciągłym poszukiwaniu nowych metod diagnozowania oraz sposobów wyznaczania stanu diagnostycznego w procesie eksploatacji.

W ramach prac rozwojowych w IPS „Tabor” opracowano program do analizy danych diagnostycznych pod kątem stworzonych wskaźników według zadawanych formuł bezpośrednio w programie źródłowym. Formułą może być zdarzenie, czyli wystąpienie określonej danej bądź zespołu danych, ich powiązania logiczne, uzależnienie czasowe wystąpienia itp.

Formuła jest zapisywana bezpośrednio w kodzie źródłowym programu i podlega kompilacji. W ten sposób otrzymuje się wiele wariantów tego samego programu w zależności od zapisanych kryteriów analizy strumienia danych diagnostycznych. Podejście takie znacznie upraszcza kod źródłowy i przyspiesza działanie, rekompensując konieczność wielokrotnej kompilacji [2].

Na rys. 5 przedstawiono jedno z okien tego programu. Program wykorzystywany był m.in. do diagnozowania i prognozowania stanu układu przeciwpoślizgowego elektrycznych zespołów trakcyjnych.

## Metody prognozowania stanu technicznego

Integralnym elementem procesu diagnozowania stanu jest prognozowanie, czyli przewidywanie stanów maszyny, które zaistnieją w przyszłości. Każdorazowo więc wyznaczony model stan-symptom lub (często) stan-czas eksploatacji maszyny powinien mieć nie tylko właściwości wyjaśniające naturę przekształcenia, lecz także właściwości predykcyjne umożliwiające przewidywanie zmian stanu maszyny. Ma to szczególne znaczenie dla maszyn krytycznych, których unieruchomienie może być przyczyną znacznych strat materialnych, a nawet zagrożenia zdrowia i życia ludzkiego. Rozpoznanie przewidywanych zmian stanu w określonym horyzoncie czasowym jest na ogół nieodzowne dla uzyskania właściwej efektywności działania maszyn, pozwalających użytkownikowi podejmować racjonalne decyzje dotyczące terminu i zakresu niezbędnych prac obsługowych.

Metody prognozowania stanów badanego obiektu można podzielić na:

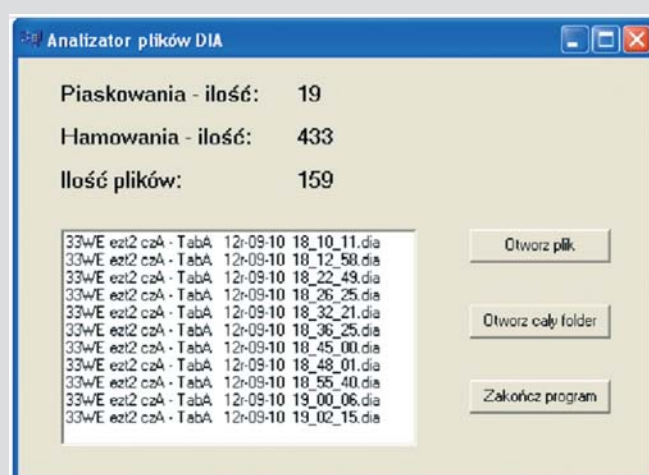
- metody intuicyjne,
- metody matematyczne.

Metody intuicyjne obejmują rozległy obszar rozciągający się od wypowiedzi poszczególnych fachowców i ekspertyz zbiorowych (opracowanych wg zasady przegłosowania) aż do metody dyskusji panelowych i metody delfickiej. Ankietowanie grupy specjalistów bywa prowadzone w nadziei, że niektóre błędy zawarte w opiniach indywidualnych ulegną „przegłosowaniu” w opinii zbiorowej. Dyskusje panelowe zmuszają grupę ekspertów do bezpośrednich kontaktów wzajemnych, co umożliwia konstruktywną wymianę poglądów i uściślenie podejmowanych decyzji [4].

W matematycznych metodach prognozowania stanów nadzorowanych maszyn wszelkie subiektywne przesłanki dotyczące badania zmian stanów są formułowane w języku matematycznym w oparciu o dostępne modele matematyczne [11].

Realizacja prognoz w systemach diagnostycznych uwarunkowana jest procesem identyfikacji trendu zmian wartości kontrolowanych symptomów. Przydatność różnych formalizacji prognostycznych dla systemów diagnostycznych pozwala pogrupować je w następujące grupy:

- ✱ klasyczna ekstrapolacja wartości szeregów czasowych,
- ✱ adaptacyjne modele trendu,
- ✱ autonomiczna ekstrapolacja procesów stochastycznych,
- ✱ modele obserwatora zmian monitorowanego stanu dynamicznego, opisanego stochastycznymi równaniami różniczkowymi,
- ✱ statystyczne modele zmian symptomowych.



Rys. 5 Okno do analizy grupy plików

W zastosowaniach praktycznych warto oprzeć się na ocenie metodą prognozowania, przeprowadzoną w zależności od zachowania się trendu nadzorowanego symptomu. Wyróżnić można dwa rodzaje modelu trendu symptomu:

- znany lub łatwy do wyznaczenia *a posteriori* z obserwacji,
- nieznan i prawie niemożliwy do wyznaczenia.

Do prognozowania stanu osi zestawów kołowych służą postawy teoretyczne mechaniki pęknięcia oraz metody doświadczalne. Wiek zestawów kołowych jako kryterium kwalifikacji jest pozbawione sensu technicznego. Bardziej zasadne są techniki prognozowania oparte na ustaleniu rzeczywistej granicy zmęczenia, opartej o realne siły występujące w eksploatacji. Jednym z kryteriów kwalifikacji osi może być przebieg kilometrowy, który w przypadku pojazdów trakcyjnych musi być powiązany z rzeczywistym zespołem obciążeń działającym na oś zestawu kołowego, zatem konieczna jest rejestracja rzeczywistego widma obciążeń.

Praktyczną i zasadną metodą kwalifikacji osi zestawów kołowych do eksploatacji jest stosowanie badań nieniszczących. Ważna jest częstotliwość wykonywanych badań kontrolnych, tak by można było z awansu wykryć pęknięcie zmęczeniowe w osi zestawu kołowego. Poważnym wsparciem dla zwiększenia żywotności osi zestawów kołowych jest norma europejska PN-EN 13261:2009. Przepisy tej normy w zakresie wytwarzania, procesów kontrolnych i odbiorczych stanowią istotny postęp w stosunku do dotychczas obowiązującej karty UIC 811-1. Podniesienie jakości wyprodukowanych zestawów kołowych, a w szczególności poprawienie zabezpieczenia przed korozją przez zastosowanie odpowiedniej jakości powłok malarskich, przyczynia się niewątpliwie do zwiększenia żywotności osi zestawów kołowych [7].

## Parametry stanu urządzenia

Obecna technika pozwala mierzyć, rejestrować i archiwizować wiele parametrów urządzenia, które po zastosowaniu odpowiednich metod przetwarzania mogą wskazać trend zmian i prognozę przyszłego stanu urządzenia. Przykładowo: dla łożyska maźnicy symptomami wskazującymi na zmianę ich stanu technicznego mogą być:

- wzrost temperatury,
- emitowany hałas,
- poziom drgań.

Rodzaje uszkodzeń łożysk, ich przyczyny oraz kroki zapobiegawcze zostały opisane w [1]. Poziom tych zjawisk może być oceniany na podstawie zmierzonych i poddanych odpowiedniej analizie wartości odpowiadających im parametrów. Zjawiska te są charakterystyczne praktycznie dla wszystkich mechanizmów występujących w konstrukcji pojazdu szynowego. Ocena trendu zmian powinna odbywać się z uwzględnieniem miejsca zainstalowania, właściwości materiału, warunków pracy i wpływu mechanizmu na możliwość poprawnej eksploatacji.

## Przykładowe zastosowanie praktyczne [10]

W zmodernizowanej lokomotywie wdrożono system diagnostyki pokładowej, monitorujący między innymi temperaturę łożysk silników trakcyjnych. W eksploatacji zdarzyła się sytuacja nadmiernego nagrzewania się łożyska nr 2 silnika trakcyjnego nr 4. Przy wyższych prędkościach jazdy został przekroczony dolny próg ostrzegawczy 70°C. Po zalecanym w takim przypadku zmniejszeniu prędkości temperatura łożyska zaczęła się obniżać. Analiza przebiegu sprzed pięciu dni ujawniła, że wówczas temperatura tego łożyska również odbiegała od temperatur pozostałych łożysk, ale była tak wysoka. Łożysko to zostało poddane przeglądowi. Użytkownik postanowił podnieść o 20°C dolny próg ostrzegawczy ze względu na rozpraszanie uwagi maszynisty podczas jazdy.

W efekcie doszło do zniszczenia łożyska nr 1 oraz do uszkodzenia mechanicznego silnika trakcyjnego nr 2. Nastąpiło też kosztowne zatrzymanie lokomotywy i konieczna była równie kosztowna naprawa (regeneracja) silnika. W dniu poprzedzającym awarię temperatura łożyska nr 1 silnika trakcyjnego nr 2 była wyraźnie wyższa niż temperatura pozostałych łożysk i przekraczała 70°C. Z powodu podniesienia dolnego progu ostrzegawczego do 90°C fakt ten pozostawał niezauważony. Następnego dnia sytuacja wyglądała podobnie: temperatura łożyska nadal wzrastała i przekroczyła nowy dolny próg ostrzegawczy, wynoszący już 90°C. Maszynista najpierw zmniejszył prędkość zgodnie z zaleceniem komunikatu na panelu operatorskim, ale po chwili ponownie ją zwiększył, co doprowadziło do przegrzania i – w konsekwencji – do zniszczenia łożyska.

W przypadku łożysk można prognozować rozwój niekorzystnych zmian. Nie wystarczy jednak określenie progu temperatury, po przekroczeniu którego system diagnostyczny zwraca uwagę użytkownikowi, że łożysko zaczyna się zbyt szybko nagrzewać. Należy również śledzić różnice temperatur pomiędzy podobnymi łożyskami (tzn. usytuowanymi po tej samej stronie silników) i odnotowywać wyraźny wzrost temperatury jednego z łożysk w porównaniu z temperaturami pozostałych łożysk w danej grupie. Taki wskaźnik diagnostyczny określałby niejako *in statu nascendi* początek niekorzystnych zmian zachodzących w łożyskach.

## Bibliografia:

- [1] Antkowiak T., *Diagnostyka i prognozowanie stanu węzła łożyskowego układu biegowego pojazdu szynowego*, „Pojazdy Szynowe” 2012, nr 2.
- [2] Barna G., *Diagnosis of wheel slide protection systems for rail vehicles*, 17<sup>th</sup> IEEE International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, MMAR, Międzyzdroje 2012.
- [3] Durzyński Z., *Katalog uszkodzeń i usterek systemów i układów na tle architektury pojazdu*, „Pojazdy Szynowe” 2012, nr 3.
- [4] Hasslinger H., *Lastannahmen für Radsatzwellen-Bestandsanalyse*, „Eisenbahntechnische Rundschau” 2009, Nr. 12.
- [5] Kowalski S., Sowa A., *Klasyfikacja metod diagnostyki technicznej stosowanych w zakładzie napraw taboru kolejowego*, „Problemy Eksploatacji” 2007, nr 2.
- [6] Łastowski M., *Ocena i prognozowanie stanu pokładowych chemicznych źródeł energii elektrycznej*, „Pojazdy Szynowe” 2012, nr 3.
- [7] Murawa F., Winkler M., *Randschichtbehandelte Radsatzwellen*, „Eisenbahningenieur” 2007, Nr. 7.
- [8] OR-10004 – *Algorytm obiektywnej oceny aktualnego i prognozowanego stanu odbieraka prądu*, Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”, Poznań 2011.
- [9] OR-10022 – *Wyznaczanie parametrów oceny umożliwiających prognozowanie stanów stycznika liniowego*, Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”, Poznań 2011.
- [10] OR-10254 – *Przykładowe przebiegi z wdrożonych systemów diagnostycznych na różnych pojazdach*, Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor”, Poznań 2012.
- [11] Tylicki H., *Algorytm rozpoznawania stanu maszyn*, „Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa” 2007, nr 9.
- [12] Żółtowski B., *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wydawnictwo Uczelniane Akademii Techniczno-Rolniczej w Bydgoszczy, Bydgoszcz 1996.

Autor:

**Zbigniew Durzyński** – Instytut Pojazdów Szynowych „Tabor” w Poznaniu