

Tomasz Antkowiak, Zdzisław Pawlak

Diagnostyka techniczna układu biegowego trakcyjnego pojazdu szynowego

W artykule przedstawiono zagadnienia związane ze stosowaną diagnostyką taboru kolejowego oraz czekające na rozwiązanie problemy związane z pojazdami modernizowanymi i nowo budowanymi. Ponadto przedstawiono wymagania odnośnie do diagnostyki układu biegowego wg obowiązujących przepisów, norm oraz Technicznych Specyfikacji Interoperacyjności (TSI). Artykuł powstał w ramach projektów celowych: Prognozowanie stanu technicznego głównych systemów pojazdu szynowego na podstawie analizy zmian wartości charakterystycznych parametrów podzespołów (N N509 33663) i Mikroprocesorowy system diagnostyczny głównych systemów trakcyjnego pojazdu szynowego uwzględniający ocenę bieżącą i prognozowanie stanów (N R10 0048 06/2009), finansowanych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Wstęp

Zadaniem diagnostyki technicznej w systemach obsługi pojazdów szynowych jest umożliwienie określenia aktualnego stanu technicznego pojazdów, realizowanie – w zależności od niego – odpowiedniego zakresu obsługi oraz prognozowanie dalszego niezawodnego użytkowania. Stan techniczny pojazdu określa struktura pojazdu, a parametry tej struktury są parametrami stanu technicznego, tj. parametrami diagnostycznymi.

Badania diagnostyczne pozwalają z reguły określić aktualny stan obiektu technicznego bez demontażu tego obiektu; wymagany czasami częściowy demontaż nie narusza zasadniczych połączeń elementów. Wymaga to jednak znajomości wzajemnych związków parametrów struktury i parametrów wyjściowych.

Układ biegowy trakcyjnego pojazdu szynowego jest złożonym urządzeniem technicznym i w związku z tym jest trudnym obiektem diagnostycznym. Wynika to z dużej liczby parametrów struktury, determinujących jego stan techniczny. Dlatego zachodzi konieczność wykorzystywania odpowiednio dużego zbioru S parametrów diagnostycznych, które są parametrami charakteryzującymi różnorodne procesy fizyczne i chemiczne powstające w czasie funkcjonowania pojazdu. W zbiorze tym wyodrębnić można podzbiory parametrów roboczych i towarzyszących. Podział ten wynika z właściwości badanego obiektu i wykorzystywanych procesów wyjściowych. W zwią-

ku z różnorodnością procesów wyjściowych, wykorzystywanych podczas diagnozowania pojazdów i ich zespołów, ścisły podział parametrów na robocze i towarzyszące jest trudny i może być niejednakowy dla poszczególnych obiektów. Dlatego wygodniejszy jest podział parametrów diagnostycznych na grupy charakteryzujące symptomy stanu technicznego pojazdu, związane z rodzajem wykorzystywanego zjawiska fizycznego. Dla układu biegowego pojazdu szynowego możemy przyjąć klasyfikację symptomów diagnostycznych przedstawioną na rys. 1.

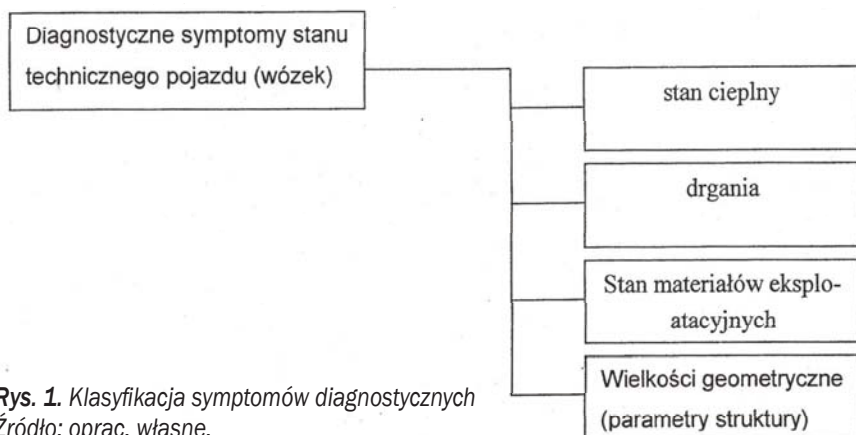
Poszczególne symptomy będą opisywane różnymi wielkościami fizycznymi (parametrami) w zależności od tego, jaki obiekt charakteryzują. Stan cieplny, określany za pomocą temperatury elementów oraz jej szybkości narastania, jest wykorzystywany do oceny stanu technicznego wielu zespołów. Procesy drganiowe towarzyszące pracy wszystkich ruchomych elementów pojazdów są wykorzystywane do ogólnej oceny stanu technicznego pojazdu oraz jego zespołów, jak również do lokalizacji niesprawności. Stan materiałów eksploatacyjnych, charakteryzowany np. ilością i składem zanieczyszczeń w smarze oraz zmianą jego właściwości użytkowych, umożliwia ocenę stopnia zużycia łożysk. Za pomocą wielkości geometrycznych (luzów) możemy diagnozować np. zużycie przekładni.

Wyróżnia się dwa sposoby wnioskowania diagnostycznego:

- ◆ symptomy diagnostyczne (zbiór relacji: symptom - stan),
- ◆ wykorzystujące modele (zbiór relacji: stan - parametry modelu).

Ocenę stanu technicznego pojazdu można dokonać w trybie *offline*, na podstawie wyników pomiarów okresowych, lub w trybie *online*, na podstawie wyników pomiarów zarejestrowanych przez system ciągłego monitoringu. Pozwala to na określenie przebiegu zmian parametrów pojazdu w funkcji wykorzystania jego potencjału eksploatacyjnego (stan zdatności).

Pomiar wartości parametru diagnostycznego wykonujemy wybraną metodą



Rys. 1. Klasyfikacja symptomów diagnostycznych
Źródło: oprac. własne.

diagnostyczną. Zbiór parametrów diagnostycznych powinien uwzględniać [14]:

- ♦ zdolność do odwzorowania zmian stanu pojazdu w czasie eksploatacji,
- ♦ ilość informacji o stanie pojazdu,
- ♦ odpowiednią zmienność parametrów diagnostycznych w czasie eksploatacji pojazdu,
- ♦ specyfikę eksploatacji pojazdów szynowych.

1. Diagnostyka układu biegowego pojazdu szynowego prowadzona w PKP

Badania diagnostyczne obejmują pomiary charakterystycznych parametrów, które można wykonać podczas pracy badanego pojazdu, co określamy jako diagnostykę funkcjonalną, lub w czasie planowanych przeglądów. W dalszych rozważaniach pomijamy tradycyjne pomiary za pomocą przenośnych przyrządów.

1.1. Diagnostyka zestawów kołowych

1.1.1. Automatemne systemy detekcji stanów awaryjnych w taborze kolejowym ASDEK/PMZ/GM/GH/OK./PHOENIX/GOTCHA [11]

Jest to system stacjonarny, bezobsługowy, przeprowadzający diagnostykę w trakcie normalnej eksploatacji pojazdu kolejowego. Procedury pomiarowe uruchamiane są automatycznie w chwili wjazdu pociągu w obszar bazy pomiarowej systemu.

System spełnia następujące funkcje detekcji:

Producentem tego systemu jest TENS sp. z o.o. Sopot.

- ❖ wykrywanie deformacji bieżni kół – funkcja PM,
- ❖ wykrywanie zagrzanych osi – funkcja GM,
- ❖ wykrywanie zakleszczonych hamulców – funkcja GH,
- ❖ wykrywanie obciążenia toru kolejowego – funkcja OK.

1.1.2. Laserowy pomiar kół i wózków taboru [5]

Jest to system stacjonarny, instalowany na wjeździe do zajezdni. Przeznaczony do automatycznego bezdotykowego pomiaru geometrii wózków oraz profili i średnic kół. Dane pomiarowe poprzez komputer pomiarowy przesyłane są do bazy danych, która jest podstawą do planowania napraw. Producentem tego systemu jest P.U.T GRAW Sp. z o.o. Gliwice.

1.1.3. System wykrywania płaszczyzn i nalep kół taboru WF [5]

Jest to stacjonarny system pomiarowy wbudowany w torowisko, w pełni zautomatyzowany wraz z oprogramowaniem; daje podstawy do planowania remontów. Producentem tego systemu jest P.U.T GRAW Sp. z o.o. Gliwice.

1.1.4. System nadzorowania stanu kół taboru P&D [5]

Bazy danych stanowią system do gromadzenia informacji o kontroli geometrii kół taboru kolejowego, opracowany przez firmę GRAW. System może integrować dane pomiarowe zebrane z przyrządów ręcznych, jak i automatycznych stanowisk. Baza danych systemu pozwala na prognozowanie niezawodnej eksploatacji kół zestawów kołowych wg wybranych kryteriów. Producentem tego systemu jest P.U.T GRAW Sp. z o.o. Gliwice.

1.2. Diagnostyka hamulców

1.2.1. Stanowisko diagnostyczne do kontroli i oceny stanu technicznego układów hamulcowych elektrycznych zespołów trakcyjnych HADIAG/EZT [3]

System HADIAG posiada mechanizmy autotestowania, wykrywające i sygnalizujące ewentualne niesprawności w działaniu urządzeń. Po włączeniu systemu automatycznie testowane są podzespoły cyfrowe i cyfrowo-analogowe modułów odpo-



Rys. 2. Zespół łożyskowania osi SKF Axletronic
Źródło: oprac. własne.

wiedzialnych za zbieranie i przetwarzanie danych. Na bieżąco prowadzony jest monitoring stanu technicznego modułów kluczowych dla systemu: zasilania, magistrali komunikacyjnej, układu sterowania oraz czujników pomiarowych. Jest to stanowisko stacjonarne, zautomatyzowane wraz z oprogramowaniem. Producentem tego systemu jest TENS sp. z o.o. Sopot.

1.3. Diagnostyka wózków

1.3.2. Systemy do kontroli, oceny stanu technicznego i regulacji zawieszenia taboru kolejowego TENSAN [15]

Systemy TENSAN są rodziną stacjonarnych urządzeń diagnostycznych do kontroli, oceny stanu technicznego i regulacji zawieszenia pojazdów szynowych.

Proces pomiarowy jest zautomatyzowany:

- ♦ system TENSAN/P umożliwi pomiary i regulacje rozkładu nacisków wszystkich pojazdów szynowych oraz pomiar sztywności skrętnej na ruchomym wózku poprzez oddzielny pomiar każdego wózka,
- ♦ system TENSAN/PL umożliwi pomiary i regulację nacisków oraz pełny pomiar sztywności skrętnej wszystkich typów lokomotyw,
- ♦ system TENSAN/PLW umożliwi pomiary i regulację nacisków oraz pełny pomiar sztywności skrętnej wszystkich typów pojazdów szynowych.

Producentem tego systemu jest TENS sp. z o.o. Sopot.

1.4. Diagnostyka pokładowa pojazdów trakcyjnych

Diagnostyka pokładowa zostaje wprowadzona w ramach modernizacji lokomotyw (np. ET22 i EM10, gdzie zostaje wdrożony mikroprocesorowy system sterowania i diagnostyki).

W zakresie układu biegowego diagnostyka ma ograniczony zakres:

- ♦ hamulec – monitorowanie zgodności ciśnienia przewodu głównego i cylindra z zadanymi poziomami hamowania,
- ♦ łożyska – pomiar temperatury,
- ♦ układ napędowy – monitorowanie danych o stanie urządzeń (obroty, prądy trakcyjne).

2. Nowe rozwiązania w zakresie diagnostyki układu biegowego wdrożone przez producentów europejskich

2.1. Zespół łożyskowania osi SKF Axletronic wyposażony w zintegrowane czujniki produkcji SKF [9]

Zespół łożysk SKF (rys. 2) wyposażony jest w zintegrowany, jak w łożyskach kompaktowych CTBU, w czujnik określający temperaturę, prędkość obrotową, przyspieszenie (kierunek pionowy i poziomy) oraz – dodatkowo – czujnik lokalizujący dla ETCS.

Czujniki mierzą ogólny poziom drgań, co daje nam informacje o ogólnym stanie łożysk, jak też o współpracy koła z szyną, podczas której następuje generowanie drgań związanych ze stanem technicznym koła zestawu i szyny.

Analiza częstotliwościowa (widmowa) rozkłada sygnał drgań na składowe harmoniczne o różnych częstotliwościach. Wzrost amplitudy składowych oraz wzrost ich częstotliwości dostarczają informacji o usterkach w układzie. Sygnały pomiarowe z czujnika przekazywane są do układu monitorowania wózka stanowiącego część pokładowego systemu monitorowania pojazdu.

2.2. Pokładowy system monitorowania stanu pojazdu – SKF Multilog On-line System [9]

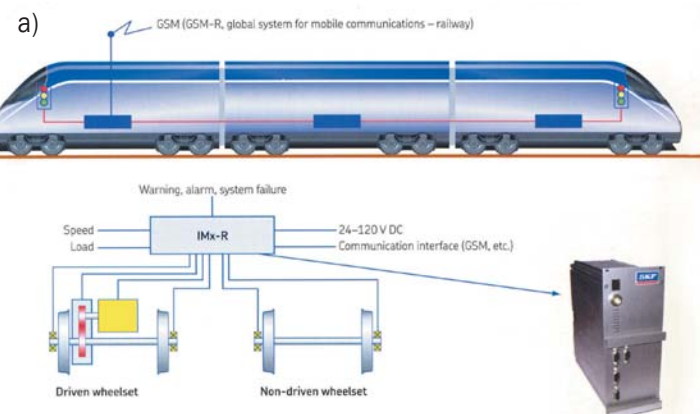
Systemy monitorowania stanu *online* firmy SKF (rys. 3) zostały opracowane w celu ułatwienia wczesnego wykrywania uszkodzeń, zapobiegania im, zapewnienia automatycznego powiadomienia, skorygowania bieżącego lub przewidywanego stanu technicznego podzespołów pojazdu szynowego i przesyłania danych wejściowych dla systemów zarządzania obsługą uwarunkowaną stanem technicznym obiektu. SKF Multilog On-line System IMx-R, opracowany specjalnie dla przemysłu kolejowego, zapewnia zwiększoną niezawodność dzięki monitorowaniu np.:

- ◆ stanu łożyskowania zestawu kołowego i trwałości użytkowej środka smarnego,
- ◆ spłaszczeń i kształtu koła,
- ◆ stateczności i kołysania wózka,
- ◆ warunków wykolejenia,
- ◆ stanu układu napędowego, tj. silników trakcyjnych, przekładni i wałów napędowych,
- ◆ niewyważenia i warunków powstawania rezonansu,
- ◆ stanu torów.

Multilog On-line System IMx-R zapewnia automatyczne ostrzeżenie, zależne od obciążenia i prędkości jazdy, oraz alarmy, które inicjują łączność wewnętrzną i zewnętrzną, przetwarzanie danych dla automatycznego diagnozowania i analizy zasadniczych przyczyn problemu oraz połączenie z systemami zarządzania obsługą, pozwalając na planowanie i zarządzanie dostawą części zamiennych. System zapewnia użytkownikowi końcowemu dostęp do bazy danych poprzez witrynę internetową.

2.3. Monitoring wózka lokomotywy Re 465 firmy Bombardier [12]

Firmy Bombardier Transportation i SKF Condition Monitoring Center-Lulea opracowały system monitorowania wózków typu



Mitrac MCM dla lokomotywy Re 465. System ten służy do kontroli wszystkich zespołów posiadających części wirujące. W ten sposób mogą być wykryte i zdiagnozowane następujące stany i przypadki: stan łożysk i ich temperatura, płaskie miejsca i kształt koła, stabilność wózka i występowanie drgań, wężykowania, stan wykolejenia, stan mechaniczny silnika i przekładni, problemy niewyważenia i rezonansu, stan szyn.

System MCM bazuje na analizie przyspieszeń i temperatury z uwzględnieniem takich informacji, jak: prędkość obrotowa silnika, siła pociągowa lub usytuowanie pojazdu na linii kolejowej. Odpowiednie czujniki sensorowe umieszczone na wózku i dane otrzymane z magistrali pojazdu dostarczają niezbędnych informacji. System Mitrac MCM rozpoznaje automatycznie częstotliwości, które są charakterystyczne dla błędów spowodowanych przez usterki. System ten posiada odpowiedni zespół algorytmów diagnostycznych, który generuje automatycznie alarm dla maszynisty przez magistralę.

2.4. Metoda oceny stanu własności dynamicznych i tras kolejowych za pomocą detekcji wykolejeń

W wyniku doświadczalnych i symulacyjnych badań niemieckich [8] opracowano metodę mającą na celu wczesne wykrywanie pojazdów zagrożonych wykolejeniem. Stwierdzono, że istotnym elementem bezpiecznej jazdy pojazdów szynowych jest poziom drgań zestawów kołowych.

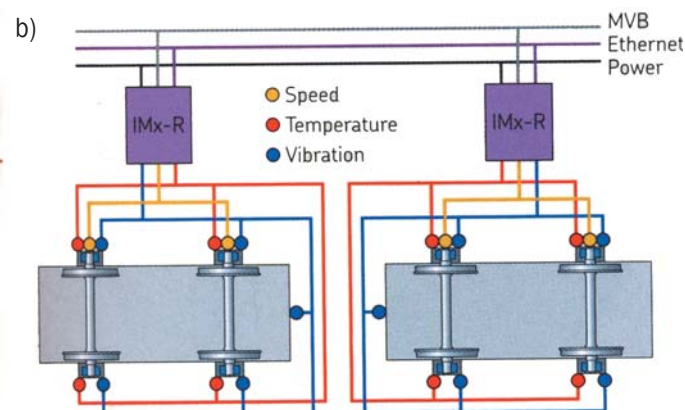
Zastosowano nową formę oceny bezpiecznej jazdy pojazdu szynowego za pomocą współczynnika λ , charakteryzującego poziom przyspieszeń zestawu kołowego i otrzymanego w wyniku dyskretnej transformacji Karhunen – Loeve. Jako graniczną wartość współczynnika λ , wyrażającego poziom energii zakłóceń podczas jazdy, uznano zakres $25 \pm 40 \text{ m}^2/\text{s}^4$.

Metoda ta wykorzystuje sensory przyspieszeń zabudowane w korpusach łożysk, które – po pozyskaniu danych – przesyłają niezbędne informacje do centrali informacyjnej zarządu kolejowego za pośrednictwem satelity.

2.5. System diagnostyczny kół kolejowych ARGUS

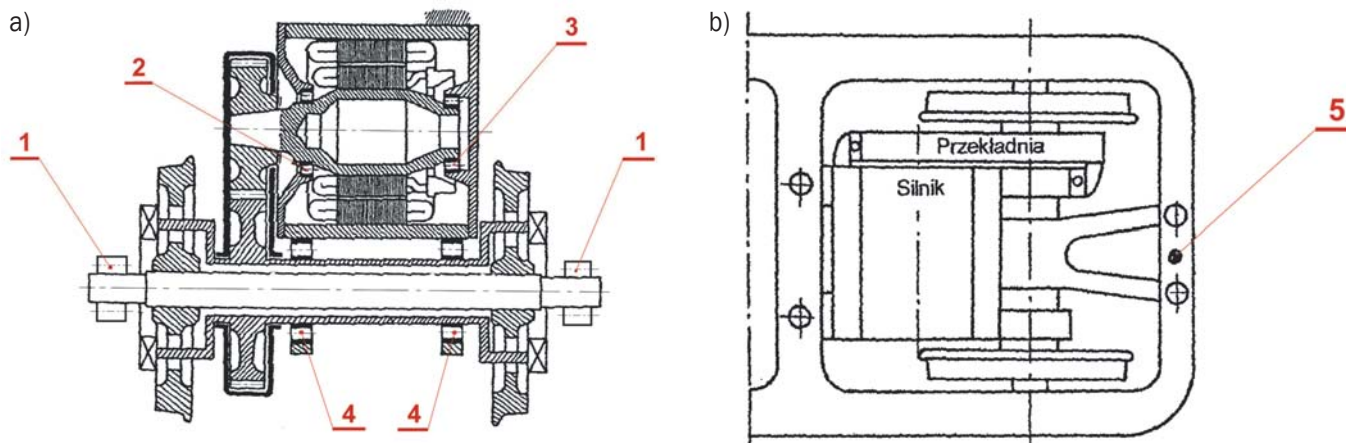
System diagnostyczny ARGUS [10] jest całkowicie zautomatyzowanym stacjonarnym urządzeniem kontrolno-pomiarowym kół jezdnych pojazdów szynowych będących w ruchu. W trakcie przejazdu przez moduły diagnostyczne wszystkie koła są automatycznie sprawdzone:

- ◆ moduł 1 identyfikuje pojazd,
- ◆ moduł 2 sprawdza kołowość i płaskie miejsca,



Rys. 3. System monitorowania: a) układu napędowego SKF Multilog on-line IMx-R, b) wózka SKF Multilog on-line IMx-R

Źródło: oprac. własne.



Rys. 4. Schemat zabudowy : a) czujników pomiarowych w układzie napędowym typu IEUsUpS (np. lokomotywy EP07, EP08) [6], b) czujnika na ramie wózka: 1 – czujnik pomiaru drgań (przyspieszenia), temperatury i obrotów zabudowany na korpusie maźnicy lub na łożysku, 2 – czujnik pomiaru drgań i temperatury zabudowany na pokrywie łożyskowej, 3 – czujnik pomiaru drgań, temperatury i obrotów zabudowany na pokrywie łożyskowej, 4 – czujnik pomiaru drgań i temperatury zabudowany na obudowie wału drążonego, 5 – czujnik pomiaru drgań (przyspieszeń) zabudowany na ramie wózka

Źródło: oprac. własne.

- ♦ moduł 3 mierzy średnicę kół,
- ♦ moduł 4 kontroluje profil kół i odległość między obrzeżami kół jezdnych,
- ♦ moduł 5 wykrywa pęknięcia.

W stosunku do innych systemów diagnostycznych nowością jest moduł wykrywania pęknięć metodą ultradźwiękową. Producentem tego systemu jest firma Hegenscheidt MFD Niemcy.

3. Wymagania w zakresie diagnostyki układu biegowego wg obowiązujących przepisów, norm, TSI

3.1. Wytoczne techniczno-eksploatacyjne urządzeń do wykrywania stanów awaryjnych taboru

Instrukcja Ie-3 [15] określa zakres diagnostyki dla stosowanych w PKP urządzeń do detekcji stanów awaryjnych taboru (dsat):

- ❖ PM – płaskie miejsca,
- ❖ GM – gorące korpusy łożysk osiowych,
- ❖ GH – gorące obręcze (klocki hamulcowe) i tarcze hamulcowe,
- ❖ OK – obciążenia kół.

Dla poszczególnych funkcji określone są wartości progowe (ostrzegawcze i alarmowe) w zależności od kategorii wymaganej osłony infrastruktury kolejowej:

- linie kat. I: $v > 200$ km/h,

- linie kat. II: 120 km/h $< v < 200$ km/h.

Na liniach kat. I przy braku bądź wyłączeniu urządzeń dsat konieczne jest stosowanie diagnostyki pokładowej.

3.2. Wymagania TSI – tabor transeuropejskiego systemu kolei dużych prędkości

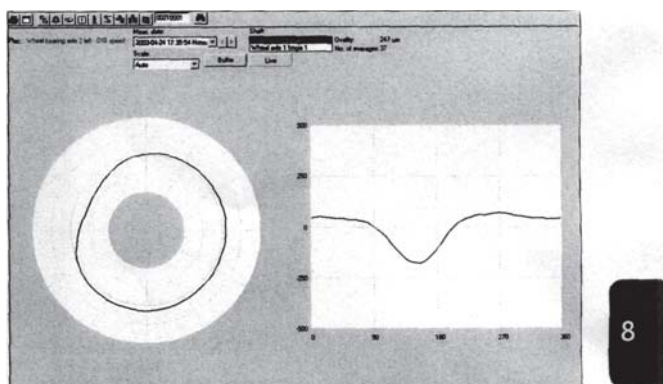
Decyzja Komisji Europejskiej nr 2008/232/WE z 21.02.2008 w Dz. U. WE nr L84 z dnia 26.03.2008 r. [13]: p. 4.2.7.10 Rozwiązania w zakresie monitorowania i diagnostyki określa funkcje i urządzenia, które powinny być monitorowane samodzielnie lub zewnętrznie:

- ♦ wykrywanie niestabilności,
- ♦ pokładowe monitorowanie stanu łożysk osi,
- ♦ kontrolowanie układu hamulcowego,
- ♦ wykrywanie wykolejenia.

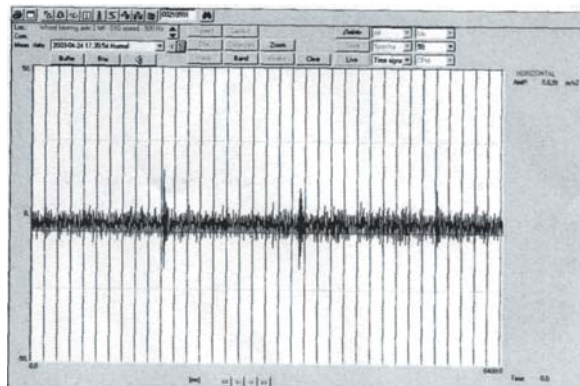
Monitorowanie funkcji i urządzeń musi być wykonywane bez przerwy lub z częstotliwością mogącą zapewnić wykrycie usterki na czas. W pociągach klasy 1 system ten powinien być także połączony z pokładowym rejestratorem danych diagnostycznych, aby umożliwić śledzenie stanu systemów.

Wykrywanie niestabilności

Jeżeli stateczność zależy od zastosowania urządzeń, które nie są odporne na uszkodzenia, pociągi jeżdżące z prędkością



Rys. 5. Zmiana kształtu koła [9]



Rys. 6. Widmo drgań koła ze zmienionym kształtem wg rys. 7 [9]

przekraczającą 220 km/h muszą mieć alarm niestateczności zainstalowany na pokładzie. Detekcja niestateczności musi polegać na pomiarze przyspieszenia wykonanym na ramie wózka.

Monitorowanie stanu łożysk osi

W pociągach klasy 1 stan łożysk musi być monitorowany przez pokładowe urządzenia, które są w stanie wykryć pogorszenie się tego stanu, albo na podstawie pomiaru temperatury obudowy łożysk czy zmian częstotliwości drgań, albo na podstawie innych odpowiednich charakterystyk miarodajnych dla stanu łożyska. System detekcji musi być zlokalizowany w całości na pokładzie. Wyposażenie pociągów klasy 2 w pokładowe systemy detekcji nie jest wymagane, chyba że zagrane obudowy łożysk nie mogą być wykryte przez przytrowe systemy detekcji.

Układ hamulcowy

- ◆ Pociągi klasy 1 muszą być wyposażone w system monitorujący rotację kół, informujący maszynistę o zatarciu osi.
- ◆ Pociągi o prędkości maksymalnej większej niż 200 km/h należy wyposażyć w układ diagnostyki awarii układu hamulcowego.

Wykrywanie wykolejeń

Systemy wykrywania wykolejeń muszą być instalowane w nowych konstrukcjach zespołów trakcyjnych klasy 1, począwszy od chwili przyjęcia specyfikacji interoperacyjności ich dotyczącej i wtedy, gdy będzie ona dostępna na rynku. Dopóki ta nie zostanie udostępniona, dopóty instalowanie tych systemów nie będzie obowiązkowe.

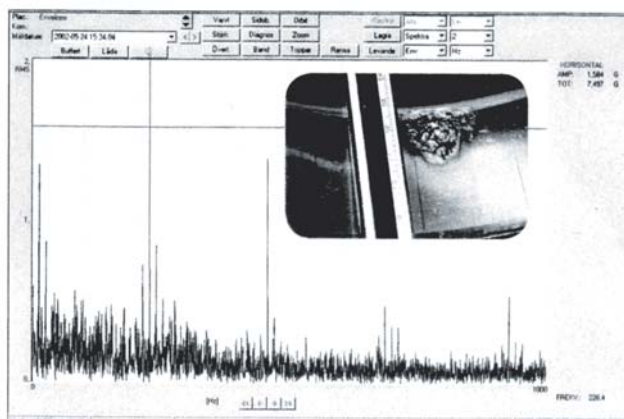
4. Wytyczne dotyczące diagnostyki układu biegowego dla pojazdów trakcyjnych modernizowanych i nowo budowanych

Biorąc pod uwagę stan dotychczasowej diagnostyki w PKP, wymagania TSI oraz najnowsze tendencje w technice diagnostycznej, należy skupić się na wprowadzeniu diagnostyki pokładowej z wykorzystaniem obiektywnych metod prognozowania stanu technicznego pojazdu. Ułatwieniem jest wprowadzenie mikroprocesorowych układów sterowania w pojazdach modernizowanych i nowo budowanych, gdyż system ten jest łatwiej rozbudować o funkcje diagnostyczne. Konieczne jest stworzenie podstaw do opracowania własnych rozwiązań i wdrożenie ich przez polski przemysł.

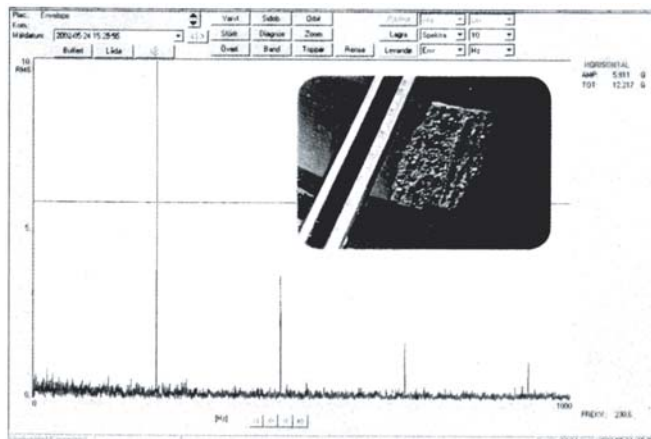
Na podstawie pracy [14] przyjmujemy, że w przypadku oprogramowania pokładowego systemu diagnostyczno-sterującego, wykorzystującego optymalną prognozę, należy zastosować:

- procedury wyznaczania optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych do opracowania w fazie projektowania i konstruowania pojazdu:
 - liczby i miejsc rozmieszczenia punktów pomiarowych parametrów diagnostycznych układów lub zespołów pojazdu,
 - rodzaju monitorowania (tryb online lub offline) z użyciem czujników zainstalowanych na stałe w wyznaczonych punktach pomiarowych układów lub zespołów pojazdu w zależności od częstotliwości próbkowania, o której decyduje rodzaj parametrów i sposób jego pomiaru,
 - sposobu przetwarzania sygnałów wejściowych parametrów diagnostycznych,
 - oprogramowania użytkowego systemu w zakresie wyznaczenia optymalnego zbioru parametrów diagnostycznych;

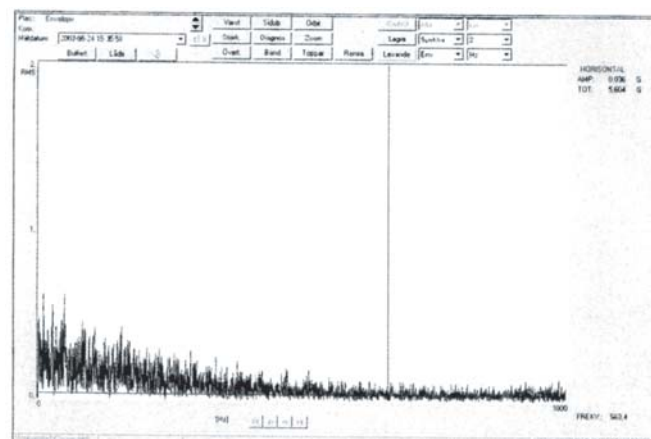
- procedury określenia optymalnej metody prognozowania i wyznaczenia optymalnej prognozy do opracowania:
 - programów użytkowych systemu w zakresie wyznaczenia optymalnej prognozy i archiwizacji informacji diagnostyczno-prognostycznej układów lub zespołów pojazdu,
 - programów użytkowych systemu w zakresie wyznaczenia optymalnej prognozy i archiwizacji informacji diagnostyczno-prognostycznej układów lub zespołów pojazdu,
 - adaptacyjnej strategii monitorowania, umożliwiającej zmianę nastaw pomiarowych systemu (optymalny zbiór



Rys. 7. Widmo drgań maźnicy z uszkodzonym łożyskiem [9]



Rys. 8. Inny przykład widma drgań maźnicy z uszkodzonym łożyskiem [9]



Rys. 9. Widmo drgań maźnicy z dobrymi łożyskami [9]

parametrów diagnostycznych, wartości progów alertowych i alarmowych, optymalna metoda prognozowania) w zależności od zmian stanu układu pojazdu (wymiana lub regulacja) oraz od zmian warunków eksploatacji pojazdu.

Ocenę stanu technicznego i prognozę należy wykonać poprzez jednoznaczne skojarzenie cech stanu obiektu ze zbiorem procesów wyjściowych, czyli symptomów. Algorytmy przyporządkowujące sobie oba zbiory cech – konstrukcji i symptomów – są podstawą do tworzenia modeli diagnostycznych obiektów [16]. Model diagnostyczny obiektu jest to narzędzie pozwalające opisać obiekt i jego zachowanie w różnych warunkach za pomocą relacji diagnostycznej na zbiorze cech stanu i zbiorze symptomów. Dla ułatwienia diagnostyki

układu biegowego obiekt zostanie podzielony na moduły stanowiące ograniczone zbiory właściwości obiektu, wybrane ze względu na cel badania.

4.1. Miejsce zabudowy czujników monitorowania stanu wózka

Na rys. 4 przedstawiono przykładowy schemat zabudowy czujników na wózku lokomotyw eksploatowanych w PKP.

Układ ten może być wykorzystany w całości lub można ograniczyć go do pewnych zespołów czy podzespołów, np. łożyskowania zestawów kołowych czy łożyskowania silnika trakcyjnego. Mikroprocesorowy system powinien rozpoznawać automatycznie częstotliwości, które są charakterystyczne dla usterek występujących w poszczególnych układach.

Tab. 1. Zestawienie modułów proponowanego systemu diagnostyki pojazdów szynowych

Lp.	Moduł	Zadanie	Model	Symptom	Sygnal pomiarowy
1	2	3	4	5	6
1.	Moduł 1: łożyska toczne maźnicy	Monitorowanie stanu łożysk; predykcja wystąpienia uszkodzeń łożysk; prognozowanie eksploatacji łożysk	Symulacyjny model strukturalny pojazdu uwzględniający: – dynamikę pojazdu, – model kontaktu koło – szyna, – model toru (klasyczny model matematyczny)	Drgania wężła łożyskowego	Mierzony na korpusie maźnicy lub na łożysku osiowym: – przyspieszenia, – częstotliwość drgań (czujnik poz. 1, rys. 4a)
2.	Moduł 2: koło zestawu kołowego	Wykrycie i ocena wielkości deformacji powierzchni tocznej koła: – płaskie miejsca, – nalepy, – owalizacja; prognozowanie eksploatacji kół		Drgania powstające na styku koło – szyna	
3.	Moduł 3: łożyska toczne maźnicy	Monitorowanie temperatury łożysk; detekcja uszkodzenia	Model symptomowy (wykorzystujący diagnostyczne symptomy stanu technicznego)	Wzrost temperatury wężła łożyskowego	Mierzony na korpusie maźnicy lub na łożysku maźniczym (czujnik poz. 1, rys. 4a)
4.	Moduł 4: łożyska toczne maźnicy	Pomiar prędkości obrotowej z przeznaczeniem do sterowania silnika trakcyjnego i układu przeciwpoślizgowego	Model symptomowy	Prędkość obrotowa łożyska (osi)	Mierzony w maźnicy lub na łożysku maźniczym (czujnik poz. 1, rys. 4a)
5.	Moduł 5: łożyska toczne silnika trakcyjnego (strona przekładni)	Monitorowanie stanu łożysk; predykcja wystąpienia uszkodzenia łożysk; prognozowanie eksploatacji łożysk	Model strukturalny	Drgania wężła łożyskowego	Mierzony na obudowie łożyska: – przyspieszenia, – częstotliwość drgań (czujnik poz. 2, rys. 4a)
6.	Moduł 6: łożyska toczne silnika trakcyjnego (strona przekładni)	Monitorowanie temperatury łożysk; detekcja uszkodzenia	Model symptomowy	Wzrost temperatury wężła łożyskowego	Mierzony na obudowie łożyska (czujnik poz. 2, rys. 4a)
7.	Moduł 7: łożyska toczne silnika trakcyjnego (strona przeciwna przekładni)	Monitorowanie stanu łożysk; predykcja wystąpienia uszkodzenia łożyska; prognozowanie eksploatacji łożysk	Model strukturalny	Drgania wężła łożyskowego	Mierzony na obudowie łożyska: – przyspieszenia, – częstotliwość drgań (czujnik poz. 3, rys. 4a)
8.	Moduł 8: łożyska toczne silnika trakcyjnego (strona przeciwna przekładni)	Monitorowanie temperatury łożysk; detekcja uszkodzenia	Model symptomowy	Wzrost temperatury wężła łożyskowego	Mierzony na obudowie łożyska (czujnik poz. 3, rys. 4a)
9.	Moduł 9: łożyska toczne silnika trakcyjnego (strona przeciwna przekładni)	Pomiar prędkości obrotowej silnika	Model symptomowy	Prędkość obrotowa łożyska (wał silnika trakcyjnego)	Mierzony na łożysku (czujnik poz. 3, rys. 4a)
10.	Moduł 10: łożyska toczne wału drażonego	Monitorowanie stanu łożysk; predykcja wystąpienia łożyska; prognozowanie eksploatacji łożysk	Model strukturalny	Drgania wężła łożyskowego	Mierzony na obudowie łożyska (czujnik poz. 4, rys. 4a)
11.	Moduł 11: łożyska toczne wału drażonego	Monitorowanie temperatury łożysk; detekcja uszkodzenia	Model symptomowy	Wzrost temperatury wężła łożyskowego	Mierzony na obudowie łożyska (czujnik poz. 4, rys. 4a)
12.	Moduł 12: przekładnia	Monitorowanie stanu przekładni: – uszkodzenia kół zębatach, – rezonanse	Model strukturalny	Drgania przekładni	Mierzony na obudowie łożyska: – przyspieszenia, – częstotliwość drgań (czujnik poz. 2, rys. 4a)
13.	Moduł 13: niestabilność wózka	Wykrywanie niestabilności wózka	Model strukturalny	Niestateczność wózka – wzrost przyspieszeń na ramie wózka	Mierzony na ramie wózka – przyspieszenia (czujnik poz. 5, rys. 4b)

4.2. Zestawienie modułów

Zestawienie modułów (tab. 1) jest przykładowym rozwiązaniem diagnostyki dla danego typu pojazdu. Budowa modułowa pozwala na wybór zakresu diagnostyki, np. stan łożyska możemy ocenić poprzez pomiar temperatury lub poprzez pomiar drgań.

Diagnostyka przekładni polega na pomiarze drgań łożysk (por. tab. 1). Wynika to z konstrukcji przekładni, gdyż obudowę stanowi osłona wykonana z blachy.

Analiza częstotliwościowa (widmowa) drgań węzła łożyskowego, polegająca na rozłożeniu sygnału drganiowego na składowe harmoniczne o określonych częstotliwościach odpowiadających danym uszkodzeniom, daje nam niezbędne informacje o stanie przekładni i łożyskowania. Przykładową analizę widmową drgań węzła łożyskowego maźnicy, przedstawiającą uszkodzenia koła i łożyska, zaprezentował SKF w swojej publikacji [9] (rys. 6–9).

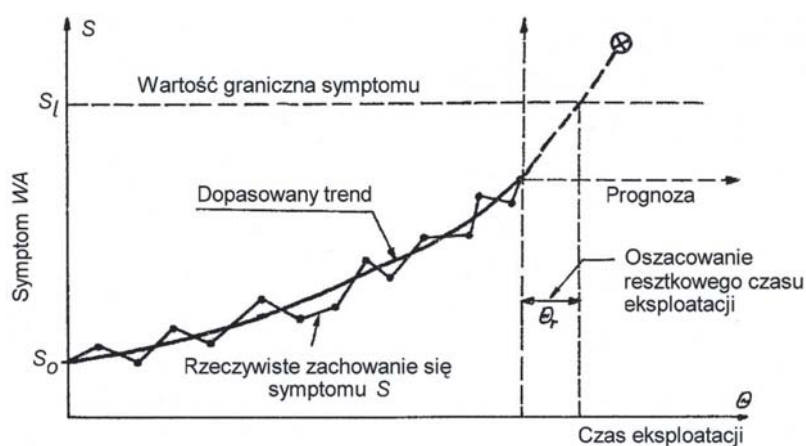
Prognozę stanu technicznego można sporządzić, badając ewolucję określonej miary (symptomu) przy zmieniającym czasie eksploatacji. Uzyskana krzywa eksploatacyjna będzie identyfikować rodzaj uszkodzenia i jego zachowanie. Wnioskowanie diagnostyczne winno być oparte na określeniu trendu zmian danego symptomu i może wykorzystać specjalne metody badania trendów. Przykład takiego podejścia zawarty w [1] przedstawiono na rys. 10. Jest to prognozowanie wg znanego modelu trendu.

Podsumowanie

Ze względu na ograniczone ramy artykułu problemy związane z rozwiązaniem diagnostyki układu biegowego pojazdu zostały przedstawione w formie wytycznych i zredukowane do przedstawienia modułów diagnostycznych. Moduły modelu muszą być opracowane szczegółowo dla konkretnego pojazdu i uszkodzenia.

Bibliografia:

1. Cempel Cz., *Podstawy wibroakustycznej diagnostyki maszyn*, WNT, Warszawa 1982.
2. Hebda M., Niziński S., Pelc H., *Podstawy diagnostyki pojazdów mechanicznych*, WKiŁ Warszawa 1982.
3. *Komputerowe systemy diagnostyki taboru kolejowego TENSAN* [materiały reklamowe firmy TENS sp. z o.o. w Sopocie.]
4. Kucharski T., *System pomiaru drgań mechanicznych*, WNT, Warszawa 2002.
5. *Laserowe systemy pomiarowe GRAW* [materiały reklamowe P.U.-T sp. z o.o. Gliwice].
6. Madej J., *Mechanika napędu pojazdów szynowych z elektrycznymi silnikami trakcyjnymi*, PWN, Warszawa 1983.
7. Marciniak J., *Diagnostyka techniczna kolejowych pojazdów szynowych*, WKiŁ, Warszawa 1982.
8. Meinke P., *Laufzustands - und Streckenbewertung mit Entgleisungsdetektion*, „Eisenbahntechnische Rundschau” 2007, Nr. 5.
9. SKF: *Railway technical handbook, Axleboxes, wheelset bearings, sensors, condition monitoring, subsystem and services*, PUB 42/P7 1098 EN - September 2010.
10. *System diagnostyczny kół kolejowych ARGUS* [materiały reklamowe firmy HEGENSCHIEDT - MFD (Niemcy)].



Rys. 10. Ilustracja prognozowania resztkowego czasu eksploatacji wg znanego modelu trendu

Źródło: oprac. własne na podst. [1].

11. *Systemy wykrywania stanów awaryjnych taboru kolejowego podczas jazdy ASDEK* [materiały reklamowe firmy TENS Sp. z o.o. w Sopocie].
12. Thiele M., Siegenthaler R., Sjöberg R., *Mechanische Drehgestellüberwachung mit Datenferzugriff*, „ZEV - Glas. Ann.” 2004, Nr. 11–12.
13. TSI - Decyzja Komisji Europejskiej nr 2008/232/WE.
14. Tylicki H., *Optymalizacja procesu prognozowania stanu technicznego pojazdów mechanicznych*, Rozprawa nr 8, ATR, Bydgoszcz 1998.
15. *Wytyczne techniczno-eksploatacyjne urządzeń do wykrywania stanów awaryjnych taboru*, Je-3 PKP PLK S.A., Warszawa 2005.
16. Żółtowski B., *Podstawy diagnostyki maszyn*, Wydawnictwo ATR, Bydgoszcz 1996.

Autorzy:

mgr inż. **Tomasz Antkowiak** - Instytut Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu, Zakład Układów i Zespołów Napędowych oraz Biegowych

mgr inż. **Zdzisław Pawlak** - Instytut Pojazdów Szynowych TABOR w Poznaniu, Zakład Układów i Zespołów Napędowych oraz Biegowych

The technical diagnosis of the running systems of the railway traction vehicle

The issues related to the used diagnosis of rolling stock and the problems to be solved in this range for the modernized and newly built vehicles are presented in this article. Moreover, the requirements in the range of the diagnosis of the running system under the applicable regulations, standards and requirements of the Technical Specifications for Interoperability (TSI) are also shown. This article was written as part of targeted projects: Forecasting the technical condition of the main systems of the rail vehicle on the basis of changes in the values of the characteristic parameters of subassemblies (N N509 336637) and (Microprocessor diagnostic system of the main systems of the railway traction vehicle taking into account the current assessment and prediction of conditions) N R10 0048 06/2009 financed from the budget of the Ministry of Science and Higher Education.