

**Mariusz Kostrzewski, Rafał Melnik, Seweryn Koziak**

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu  
Zakład Podstaw Budowy Urządzeń Transportowych

## **POTENCJAŁ WYKORZYSTANIA SYSTEMU MONITOROWANIA STANU I DIAGNOZOWANIA POJAZDÓW SZYNOWYCH I TORU W ZAKRESIE BADAŃ DOPUSZCZENIOWYCH**

Rękopis dostarczono: czerwiec 2015 r.

**Streszczenie:** Artykuł traktuje na temat możliwości adaptacji *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* do badań w zakresie dopuszczenia pojazdów szynowych do eksploatacji, zgodnie z prawem polskim. W treści artykułu omówiona zostaje grupa wskaźników diagnostycznych *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor*, służących zarówno badaniu stanu pojazdu jak i stanu toru. Ponadto zaprezentowane zostały przykładowe wyniki badań będące rezultatem eksploatacji *Systemu* w ramach rzeczywistych, a nie symulacyjnych doświadczeń. Rezultaty badań dotyczą testowania wspomnianej grupy wskaźników diagnostycznych na obiekcie rzeczywistym, pojeździe szynowym przemieszczającym się po kolejowej infrastrukturze liniowej. Przedstawione zostały także wnioski dotyczące zastosowania tych wskaźników w kontekście badań dopuszczeniowych i zaproponowane możliwości w zakresie dalszych prac nad tytułowym zagadnieniem.

**Słowa kluczowe:** badania dopuszczeniowe, układ pojazd szynowy-tor, stan pojazdu, stan toru, pojazd szynowy

### **1. WSTĘP**

*System monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* został opracowany oraz poddany testom w ramach projektu *MONIT – „Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena jej Żywotności.”* Był to projekt badawczy realizowany w ramach *Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych w latach 2008-2013.* System ten umożliwia przede wszystkim:

- monitorowanie stanu zawieszenia I i II stopnia,
- monitorowanie temperatury łożysk zestawów kołowych,
- pozycjonowanie pojazdu za pomocą *GPS*,

- monitorowanie stanu toru z poziomu pojazdu szynowego poddanego regularnej eksploatacji rejsowej.

Opracowany system może przyczynić się do uzupełnienia niedoborów wynikających z braku stosowania przez producentów taboru szynowego systemów o zbliżonym funkcjonowaniu. Układy diagnostyki pokładowej dotychczasowe instalowane w pojazdach szynowych (m.in.: lokomotywach, zespołach trakcyjnych, szynobusach) obejmują swoim działaniem takie podzespoły jak np. układ hamulcowy, napędowy, zasilania, itp. Niestosowanie systemów poddających analizom stan zawieszenia w trakcie jazdy (w trybie *on-line*) można wytłumaczyć brakiem efektywnych metod detekcji uszkodzeń zawieszenia. Na przestrzeni minionych 10 lat pojawiły się w literaturze propozycje algorytmów realizujących ocenę stanu zawieszenia, np.: [1], [21], [22], [27], [34]. W większości wymienionych publikacji proponowane metody wykorzystują model matematyczny pojazdu, który wymaga wprowadzenia parametrów sprężysto-tłumiących i masowo-bezwładnościowych. Na podstawie informacji tamże przedstawionych wnioskuje się, iż zastosowanie tych metod nie podlegało badaniom eksperymentalnym, studium nie wykroczyły poza badania symulacyjne. Opracowanie i wdrożenie układu monitorującego stan zawieszenia może przyczynić się, z jednej strony do poprawy bezpieczeństwa czynnego, a z drugiej usprawnić zarządzanie eksploatacją taboru. Z kolei bieżąca analiza stanu toru ułatwić może prawidłowe wnioskowanie o stanie zawieszenia pojazdu, a przy tym może stanowić cenną informację dla zarządcy infrastruktury o potrzebie wykonania remontu czy też redukcji ewentualnych usterek technicznych.

Omówienie różnych aspektów związanych z badaniami symulacyjnymi, konstruowaniem, implementacją prototypu *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* na obiekcie rzeczywistym czy wreszcie instalacją pełnego systemu na pojeździe szynowym i dokonaniem analizy uzyskanych pomiarów podejmowano w kolejno wymienionych pracach. Z punktu widzenia stanu pojazdu wyróżnić można prace, w których przedstawiono możliwość oceny stanu zawieszenia kolejowych pojazdów szynowych za pomocą miar statystycznych sygnałów wibroakustycznych, wybrane spośród dziesiątek prac badawczych: [8], [9], [10], [12], [32]. Szczególnie wyróżnić tu należy grupę prac dotyczących badań nad doborem wskaźników diagnostycznych, którego ostateczny wykaz miał zasadniczy udział w końcowej wersji *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* (pewne wskaźniki diagnostyczne zostały w drodze badań eksploatacyjnych wykluczone, jako redundantne lub nie dające racjonalnych wyników), w tym m.in.: [10], [13], [28], [29]. Z kolei z punktu widzenia stanu toru, prace badawcze skupiające się w głównej mierze na opracowaniu i wykorzystywaniu wskaźnika jakości toru przedstawiono m.in. w [2], [3], [4], [6], [7]. Komponowanie zasadniczej grupy wskaźników diagnostycznych, zarówno z punktu widzenia pojazdu szynowego jak i toru, opisane zostało w [25]. Dodać tu należy, że techniki lokalizowania uszkodzeń polegające wyłącznie na zmierzonych sygnałach przyspieszenia są szeroko stosowane także w innych pracach. Przykładem są prace [23], [5] poświęcone ocenie jakości torów przez wykorzystanie pomiaru przyspieszenia generowanego w wyniku oddziaływania układu koło-szyna.

O systemie wiadomo, że może być wykorzystywany w ramach zrównoważonego rozwoju, którego elementem jest ekologiczny transport kolejowy, co zostało ugruntowane w [24]. Konglomerat funkcji systemu umożliwia zatem także jego wykorzystanie

w procesie dopuszczenia do eksploatacji, jako że bezpieczeństwo obok ekologii to równorzędne czynniki zrównoważonego rozwoju.

Publikacją tą autorzy stawiają tezę dotyczącą wykorzystania *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* w zakresie dopuszczania do eksploatacji pierwszego i kolejnych egzemplarzy pojazdów szynowych poprzez monitorowanie ich zachowania dynamicznego w fazie testów i odbiorów. Dokładniej rzecz ujmując, zastosowanie opracowanego w ramach projektu MONIT *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* może być rozszerzone o badania dopuszczeniowe pojazdów w zakresie dynamiki układu biegowego. System monitorowania stanowiłby aparaturę pomiarową oraz jednocześnie tworzona byłaby baza odpowiedzi dynamicznych pojazdów zawierająca wartości referencyjne, wykorzystywane w procesie diagnozowania stanu zawieszenia.

## 2. UWARUNKOWANIA PRAWNE

Wszystkie pojazdy kolejowe przed wprowadzeniem do eksploatacji muszą przejść odpowiednie badania potwierdzające poprawność zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych w aspekcie bezpieczeństwa. Podmioty, które są upoważnione do przeprowadzenia tego rodzaju badań muszą spełniać odpowiednie wymagania określone w przepisach dotyczących akredytacji tego typu jednostek (np. laboratoria badawcze, podmioty wyznaczone, jednostki oceniające czy też jednostki certyfikujące). Instytucją przeprowadzającą tego rodzaju ocenę jest Polskie Centrum Akredytacji. Wobec tego, po przeprowadzonych badaniach całą dokumentację badawczą oraz dokumentację wymaganą w procesie dopuszczenia do eksploatacji należy złożyć do odpowiedniej instytucji, jaką w przypadku Polski jest Urząd Transportu Kolejowego. Pojazdy szynowe – w zależności od swojego przeznaczenia, konfiguracji czy też linii kolejowych, po których będą się poruszać – mogą uzyskać odpowiedniego rodzaju dopuszczenia, jakimi są: zezwolenie na dopuszczenie czy też świadectwo dopuszczenia do eksploatacji. Świadectwo dopuszczenia do eksploatacji jest dokumentem upoważniającym do eksploatacji pojazdy kolejowe poruszające się tylko po infrastrukturze Polski zgodnie z art. 4 pkt 5 w związku z art. 25 Ustawy z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym [18] zwanej dalej ustawą o transporcie kolejowym. Eksploatacja ta może być realizowana na liniach „wydzielonych”, czyli takich, których parametry eksploatacyjne odbiegają od parametrów linii kolejowych zarządcy infrastruktury np. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. Osobnym zagadnieniem jest np. rozpatrywanie kwestii dotyczących pojazdów przeznaczonych do eksploatacji na liniach metra czy też pojazdów przeznaczonych tylko do eksploatacji na bocznicach kolejowych. W przypadku modernizacji pojazdów kolejowych możliwa jest zmiana wydanego świadectwa dopuszczenia do eksploatacji poprzez przeprowadzenie procesu związanego z wyceną oraz oceną ryzyka przeprowadzonej modernizacji pod kątem spełnienia wymagań bezpieczeństwa ruchu. Dokumentem określającym, jakie badania muszą zostać wykonane jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych [15],

zwanym dalej rozporządzeniem w sprawie dopuszczenia do eksploatacji. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 6 listopada 2013 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei [17], zwanym dalej rozporządzeniem w sprawie interoperacyjności, reguluje tryb postępowania w przypadku zezwoleń dla pojazdów zgodnych lub niezgodnych z Technicznymi Specyfikacjami Interoperacyjności [16]. Analizując dalej przepisy związane z dopuszczaniem do eksploatacji pojazdów kolejowych należy określić, w jaki sposób będą poddawane eksploatacji oraz utrzymywane. Dokumentem to określającym jest Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 października 2005 r. w sprawie ogólnych warunków technicznych eksploatacji pojazdów kolejowych [14], zwanym dalej rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych. Badania, jakie należy wykonać w przypadku dopuszczenia pojazdu kolejowego do eksploatacji określone są w [16], zwanym dalej rozporządzeniem w sprawie wykazu właściwych krajowych specyfikacji technicznych. Analizując przepisy regulujące dopuszczenie pojazdów kolejowych należy każdorazowo uwzględnić odpowiednie wymagania zawarte w ustawie o transporcie kolejowym oraz w Dyrektywie Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku [20] w sprawie interoperacyjności kolei [19].

Wyżej przytoczone akty prawne traktują o samym podejściu związanym z badaniami pojazdów kolejowych i ich oceną. Natomiast ze względów formalnych przeprowadzenie samych badań na potrzeby związane z dopuszczeniem pojazdu do eksploatacji muszą być wykonane przez wyspecjalizowane w tym zakresie podmioty gospodarcze posiadające do tego odpowiednie zaplecze techniczne (wraz z kompatybilnym oprogramowaniem) oraz odpowiednio wyszkolony kapitał ludzki. Poza wymienionymi wyżej argumentami należy zwrócić uwagę na jeszcze jeden element. Aby dany podmiot mógł przeprowadzać tego rodzaju badania musi przejść odpowiednią procedurę akredytacyjną, a następnie notyfikacyjną. Podmiot starający się o przyznanie tego rodzaju uprawnień musi spełniać wymagania Ustawy z dnia 30 sierpnia 2002 roku o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2013 r. poz. 1594, z późn. zm.) [18]. W zależności od tego, o jakie uprawnienia dany podmiot się stara, musi przejść odpowiednią procedurę akredytacyjną. W przypadku jednostek przeprowadzających badania na potrzeby uzyskania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji uzyskanie odpowiednich uprawnień jest procesem złożonym. Nadawaniem odpowiednich akredytacji do przeprowadzania badań tak jak w przypadku badań dynamiki pojazdu kolejowego może odbywać się po uzyskaniu przez podmiot certyfikatu akredytowanego laboratorium badawczego. Akredytacja ta przeprowadzana jest przez Polskie Centrum Akredytacji. W przypadku uzyskania certyfikatu akredytowanego laboratorium badawczego należy spełnić wymagania normy PN-EN ISO/IEC 17025 [36]. Po uzyskaniu certyfikatu należy przedłożyć wymagane dokumenty do notyfikacji w krajowej instytucji ds. bezpieczeństwa. W rozpatrywanym tutaj przypadku podstawa działania to transport kolejowy, zatem będzie to Urząd Transportu Kolejowego.

### 3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU MONITOROWANIA STANU ELEMENTÓW UKŁADU POJAZD SZYNOWY-TOR

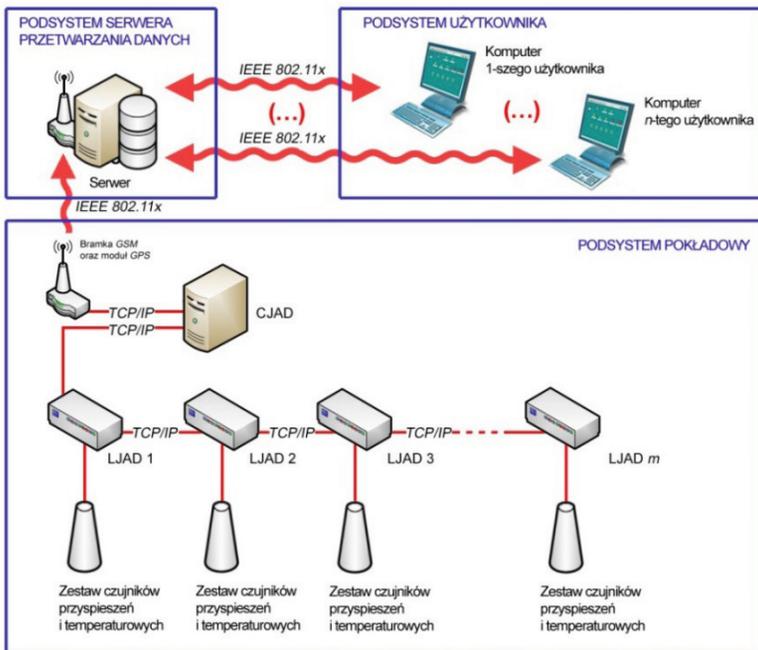
*System monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* charakteryzuje się uniwersalnością i modułową architekturą (rys. 1.). Zainstalowany może zostać zarówno na wagonach osobowych oraz towarowych, jak i na zespołach trakcyjnych i lokomotywach. W skład *Systemu* wchodzi *hardware* i *software*. Sugerując we wstępie wykorzystanie *Systemu* w badaniach o charakterze dopuszczeniowym, należy zauważyć, że część sprzętowa (*hardware*) jest w stanie realizować pomiar zgodnie z wytycznymi i zaleceniami zawartymi w normie PN-EN 14363 [35] oraz karcie UIC 518 [37]. Układ monitorowania umożliwia dostosowanie parametrów pomiarowych m.in. częstotliwości próbkowania, filtrów dla poszczególnych kanałów przewidzianych w ww. dokumentach oraz długości odcinka pomiarowego. W skład części sprzętowej *Systemu*, przeznaczonej dla konkretnego pojazdu szynowego, wchodzi następujące główne elementy:

- piezoelektryczne akcelerometry,
- czujniki temperatury,
- lokalne jednostki akwizycji danych (*LJAD*),
- centralna jednostka akwizycji danych (*CJAD*).

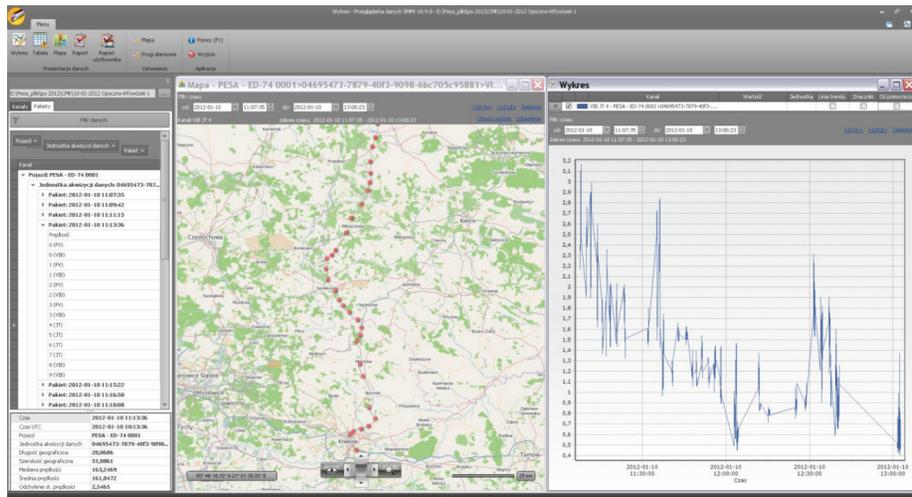
*CJAD* to komputer przemysłowy, wraz z kooperującymi modułami *GPS* oraz *GSM*, za pomocą którego przesyłane są pakiety danych (zawierające zarejestrowane wartości z kanałów pomiarowych oraz informacje o ewentualnych alarmach) na serwer użytkownika. *CJAD* steruje procesem pomiarowym, tj. dokonuje obróbki i analizy sygnałów pomiarowych, a także generuje pakiety danych wysyłanych na serwer.

Schemat toru pomiarowego systemu monitorowania przedstawiono na rys. 1. Poprzez *LJAD*, przesyłane są sygnały z czujników do *CJAD*. W *LJAD* dokonywane jest kondycjonowanie sygnałów. Do *CJAD* doprowadzane są sygnały z *LJAD*, które są następnie przetwarzane oraz obliczane są wartości wskaźników diagnostycznych.

Oprogramowanie systemu monitorowania stanowią algorytmy i procedury zaprogramowane w *CJAD* oraz instalowane na komputerze operatora (użytkownika) oprogramowanie lokalne w postaci przeglądarki danych. Przeglądarka systemu umożliwia śledzenie pojazdu na mapie oraz dostęp do pakietów danych i ich dalszą analizę. Wartości parametrów sygnałów z poszczególnych pakietów mogą być wyświetlane na mapie, jako punkty układające się w trasę przejazdu jak przedstawiono na rys. 2.



Rys. 1. System monitorowania – schemat toru pomiarowego [10], [26]

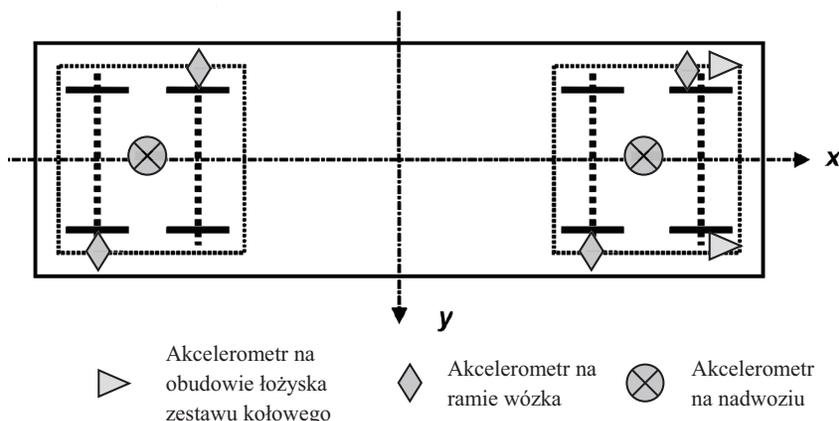


Rys. 2. Przeglądarka dla Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazdu szynowy-tor [26]

## 4. PROCEDURA MONITOROWANIA

Własności dynamiczne pojazdu szynowego zależą przede wszystkim od cech konstrukcyjnych jego układu biegowego oraz zawieszenia. Zmiany charakterystyk sztywności i tłumienia elementów podatnych, na skutek uszkodzeń lub degradacji, wpływają na częstotliwości drgań własnych brył pojazdu i ogólnie ich amplitudę, podając za [31] i [32]. W procesie oceny stanu zawieszenia istotna jest odpowiednia analiza sygnałów przyspieszenia, a także znajomość wpływu uszkodzeń elementów sprężysto-tłumiących i wymuszeń (nierówności toru, prędkość jazdy). Metoda oceny stanu zawieszenia zaimplementowana w *Systemie monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* jest oparta na analizie sygnałów przyspieszenia rejestrowanych na elementach wózków i nadwozia.

Opracowany algorytm oceny stanu zawieszenia (w uogólnieniu: układu biegowego) nie wymaga znajomości charakterystyk sztywności i tłumienia, oraz parametrów masowo-bezwładnościowych, których producenci taboru mogą nie podawać ze względu na pewne obwarowania w uogólnieniu określane mianem tajemnicy handlowej. Ocena stanu toru również jest dokonywana na podstawie analiz sygnałów przyspieszenia, przy czym ich pomiary są dokonywane przez akcelerometry zamocowane na obudowach łożysk zestawów kołowych. Lokalizacja punktów pomiarowych została przedstawiona na rys. 3.



Rys. 3. Lokalizacja punktów pomiarowych

Do oceny zawieszenia I stopnia wykorzystywane są czujniki zlokalizowane na ramach wózków (nad kołami). Mając na uwadze architekturę systemu oraz koszty aparatury liczbę punktów pomiarowych na ramieniu wózka ograniczono do dwóch. W punktach tych czujniki rejestrują sygnały przyspieszenia w kierunku pionowym i poprzecznym.

Stan zawieszenia II stopnia oceniany jest na podstawie sygnałów przyspieszenia rejestrowanych przez akcelerometry usytuowane na nadwoziu pojazdu, w okolicy środka wózka (na poziomie podłogi), w kierunku pionowym i poprzecznym.

*System monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* oprócz rejestracji sygnałów szybkozmiennych (sygnały przyspieszeń wybranych elementów pojazdu szynowego) mierzy również sygnały wolnozmiennne (temperatura łożysk zestawów kołowych). Konfiguracja czujników może być jednak dostosowywana do potrzeb operatora (użytkownika). Przedstawiony na rys. 3 rozkład punktów pomiarowych jest układem podstawowym, ale mogącym podlegać rekonfiguracji. Możliwe jest wprowadzenie większej liczby czujników bądź też rezygnacja z wybranych, np. akcelerometrów rejestrujących sygnały w kierunku poprzecznym lub czujników służących ocenie stanu toru.

#### **4.1. MONITOROWANIE STANU POJAZDU – DETEKcja USZKODZEŃ ZAWIESZENIA**

Jednym z etapów projektu MONIT były badania eksperymentalne, przeprowadzone na torze doświadczalnym zlokalizowanym przy Ośrodku Eksploatacji Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa usytuowanym 5 km od miejscowości Żmigród, mające na celu sprawdzenie poprawności funkcjonowania prototypu *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* oraz dostarczenia informacji o odpowiedziach dynamicznych pojazdów z wprowadzonymi uszkodzeniami zawieszenia. W badaniach wykorzystano wagon pomiarowy Instytutu Kolejnictwa (typu wagon 111A, rys. 4, aczkolwiek dla jasności rzeczy należy podkreślić, że wagon należący do Instytutu Kolejnictwa nie jest typowym wagonem pasażerskim, a został poddany rekonfiguracjom celem przygotowania zeń wagonu pomiarowego) oraz wagon do przewozu materiałów sypkich 415W (rys. 5). Uszkodzenie zawieszenia w wagonie pomiarowym zrealizowano przez usunięcie jednego tłumika drgań II stopnia. W wagonie towarowym poddano wykluczeniu (poprzez usunięcie) jeden pakiet sprężyn I stopnia po lewej stronie obudowy łożyska zestawu kołowego (wózek Y25).

Przykładowe wyniki porównawczych analiz widmowych sygnałów zarejestrowanych dla pojazdów w stanach sprawnym i uszkodzonym przedstawiono na rys. 6 i rys. 7. Gęstości widmowe mocy sygnałów przyspieszenia zostały estymowane za pomocą periodogramów Welch [33]. Sygnały rejestrowano na odcinkach o długości 500 m.

W przypadku usunięcia pakietu sprężyn I stopnia w wagonie towarowym, ogólnie można zaobserwować istotne zmniejszenie mocy sygnałów w obszarze częstotliwości od 0 do ok 25 Hz. Wpływ uszkodzenia jest jednak najbardziej widoczny dla częstotliwości do około 12 Hz. Redukcja tłumienia zawieszenia II stopnia ma wpływ na zwiększenie wartości gęstości widmowych w pasmach częstotliwości od 0 do około 12 Hz. W przeciwieństwie do analizy drgań na ramie wózka, drgania na nadwoziu są mniejsze gdyż zostają „odfiltrowane” przez zawieszenie I stopnia. Stąd też widmo sygnałów przyspieszenia rejestrowanych na pudle obejmuje węższy zakres częstotliwości, w których objawiają się zmiany spowodowane odstrojeniem parametrów zawieszenia.

Należy jednak mieć na uwadze fakt, iż odpowiedzi dynamiczne pojazdu z uszkodzeniami zawieszenia nie zawsze muszą zachowywać jednokierunkową zależność tzn. redukcja sztywności niekoniecznie musi wpływać na zmniejszenie mocy sygnałów

(a tym samym amplitudy). Odpowiedzi dynamiczne są zależne od amplitudy i częstotliwości wymuszenia.



Rys. 4. Wagon pasażerski 111A

Źródło: Jan Suchy,

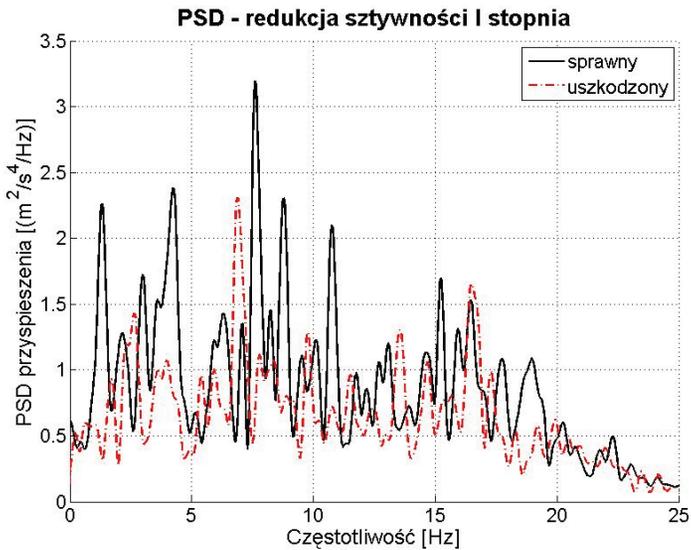
[http://pl.wikipedia.org/wiki/111A#mediaviewer/File:PKP\\_class\\_SU42\\_in\\_Kudowa\\_Zdroj.jpg](http://pl.wikipedia.org/wiki/111A#mediaviewer/File:PKP_class_SU42_in_Kudowa_Zdroj.jpg),  
dostęp online: 16 lutego 2015 r.



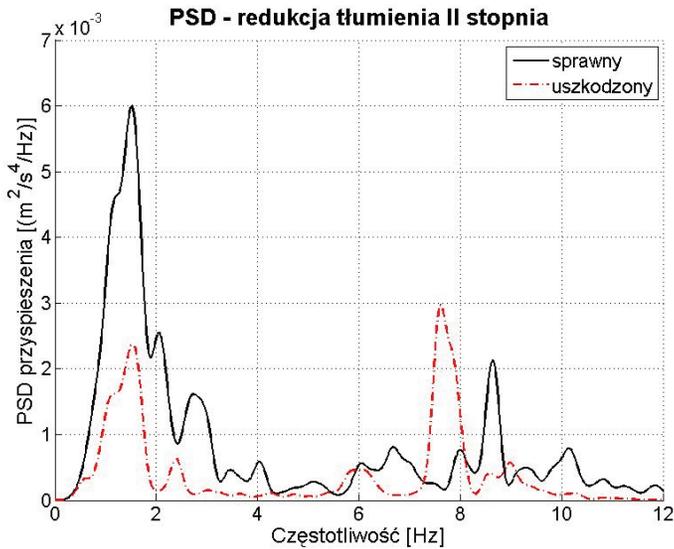
Rys. 5. Wagon towarowy 415W

Źródło: Europejskie Konsorcjum Kolejowe WAGON Sp. z o.o.

<http://www.ekk-wagon.pl/Portals/0/Gallery/Album/42/415W.jpg>, dostęp online: 16 lutego 2015 r.



Rys. 6. Gęstość widmowa mocy sygnału przyspieszenia zarejestrowanego w kierunku pionowym, wagon towarowy,  $v = 80$  km/h, tor prosty



Rys. 7. Gęstość widmowa mocy sygnału przyspieszenia zarejestrowanego w kierunku pionowym, wagon pasażerski,  $v = 80$  km/h, tor prosty

Tor doświadczalny przy Ośrodku Eksploatacji Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa jest utrzymywany w dobrym stanie, tak więc nie było możliwe zarejestrowanie odpowiedzi charakterystycznych dla torów o złym stanie utrzymania (tj. nie można było dokonać testów m.in. dla innych długości fal i amplitud nierówności).

Dokładna wartość nierówności toru nie jest zazwyczaj znana i byłaby kłopotliwa do zaimplementowania w systemie monitorowania. Ponadto nierówności ulegają zmianie wraz z dalszą eksploatacją toru. Do celów diagnostycznych można jednak w dużym przybliżeniu założyć, iż odpowiedzi dynamiczne pojazdu na wymuszenia pochodzące od toru o stałej geometrii są procesem stacjonarnym i ergodycznym. Znając przybliżony stan toru dla danego szlaku można założyć pewne wartości graniczne parametrów statystycznych sygnałów przyspieszenia. Normatywne wartości graniczne, które nie mogą zostać przekroczone w trakcie badań dopuszczeniowych, zostały zaczerpnięte z normy [35] i w konsekwencji zaimplementowane w *Systemie monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor*, a są to:

- wartość szczytowa (*Zero-Peak*),
- wartość średniokwadratowa (*RMS*).

Ponadto, w wyniku analiz badań symulacyjnych i eksperymentalnych wskazano również inne miary takie jak rozstęp kwartylny oraz energia sygnału, które mogą być używane równolegle lub zamiennie z *RMS*. Powyższe parametry są wrażliwe na zmiany wartości sygnałów przyspieszenia spowodowanych uszkodzeniami układu biegowego (w tym zawieszenia).

Przekroczenie wartości granicznych tych miar jest symptomem diagnostycznym i może wskazywać na niesprawności zawieszenia (a także układu biegowego). Normatywne wartości graniczne zamieszczono w tab. 1 wraz z częstotliwościami odcięcia filtrów dla poszczególnych kierunków rejestracji.

Tab. 1

**Wartości graniczne parametrów sygnałów i wartości odcięcia filtrów wg [35]**

Lokalizacja punktu pomiarowego	Kierunek	Max [ $m/s^2$ ]	RMS [ $m/s^2$ ]	Filtr [Hz]
Nadwozie	Poprzeczny	2.5	0.5	0.4÷10
	Pionowy	2.5	0.75	0.4÷10
Rama wózka- po lewej lub prawej stronie nad zestawem kołowym	Poprzeczny	10.9	5	10
	Pionowy	20	7	20

## 4.2. MONITOROWANIE STANU TORU

Monitorowanie stanu toru ma na celu dokonanie syntetycznej oceny stanu utrzymania toru oraz, jak wspomniano w poprzednim podrozdziale, wspomóc ocenę stanu pojazdu. Pozwala to na odrzucenie alarmów o przekroczeniach wartości granicznych parametrów, które nie są wynikiem uszkodzenia pojazdu, a zostały spowodowane złym stanem toru.

W procesie monitorowania stanu toru przetwarzane są sygnały przyspieszenia zarejestrowane na obudowach łożysk zestawów kołowych. Sygnały te są próbkowane ze znacznie większą częstotliwością (15 kHz) niż sygnały używane do oceny stanu zawieszenia. Miarą stanu utrzymania toru jest opracowany dla systemu monitorowania *wskaźnik jakości toru* obliczany na podstawie wartości zarejestrowanych sygnałów wg zależności (1) zaczerpniętej z [25].

$$W_i = c_i \cdot \left\{ \lim_{T \rightarrow \infty} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt \right] \right\}^p \quad (1)$$

gdzie:

$W_i$  – wskaźnik jakości toru,

$c_i$  – wartość dobrana na podstawie badań symulacyjnych,  $c_i = 1$ ,

$p$  – wartość dobrana na podstawie badań symulacyjnych,  $p = 0,225$ ,

$a$  – przefiltrowany wektor sygnału przyspieszenia,

$T$  – czas zbierania danych pomiarowych.

Stan analizowanego odcinka toru można sklasyfikować w zależności od wartości wskaźnika jakości. Zaproponowaną klasyfikację zamieszczono w tab. 2.

Tab. 2

**Klasyfikacja wskaźnika jakości toru  $W_i$  [25]**

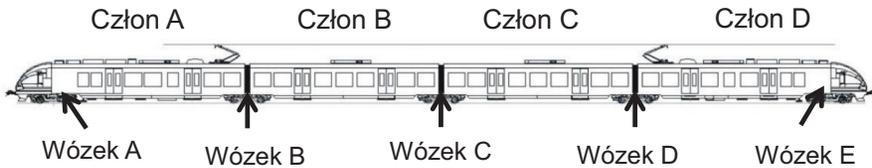
Klasa	Stan toru	Wartości $W_i$
1	Bardzo dobry	< 1.0
2	Dobry	1.0 – 1.5
3	Akceptowalny	1.6 – 2.5
4	Zły	>2.5

## 5. EKSPLOATACJA NADZOROWANA SYSTEMU

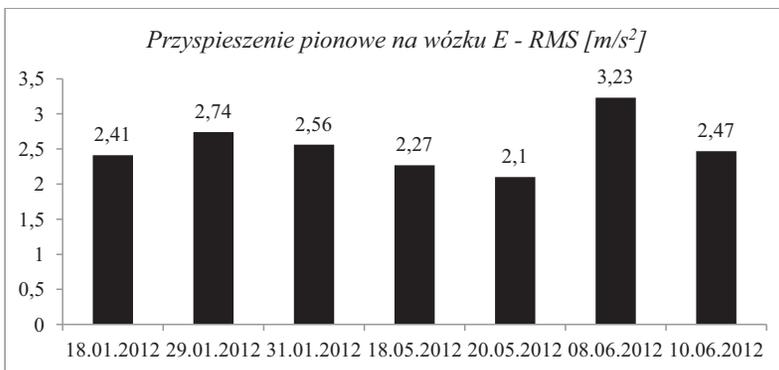
Dalsze testy *Systemu monitorowania stanu elementów układu pojazd szynowy-tor* miały miejsce w ramach eksploatacji nadzorowanej, która trwała przez rok. W jej ramach system monitorowania został zainstalowany na elektrycznym zespole trakcyjnym *ED74* produkcji *PESA Bydgoszcz S.A.* i kursował jako pociąg spółki *PKP InterCity*, głównie na trasach Warszawa – Kraków, Warszawa – Poznań, Warszawa – Terespol i Warszawa – Wrocław. Konfiguracja członów i wózków *ED74* została przedstawiona na rys. 8.

Na rys. 9-12 przedstawiono uśrednione wartości parametrów otrzymane na podstawie analiz sygnałów zarejestrowanych w trakcie jazdy *EZT* na wyżej wymienionych trasach. Przeanalizowano sygnały przyspieszenia zarejestrowanych przez system w okresie od stycznia do czerwca 2012 r. Na wykresach słupkowych na rys. 9 przedstawiono uśrednione wartości *RMS* przyspieszenia pionowego na wózku *E* dla przejazdów w poszczególnych miesiącach. Podział wartości wskaźników diagnostycznych, ze względu na prędkość jazdy,

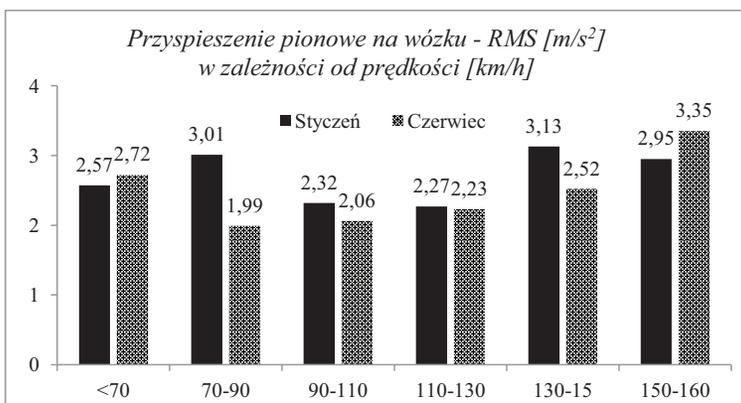
ilustrują rys. 10-12. Wartości graniczne jakie przyjęto w trakcie eksploatacji nadzorowanej systemy były zgodne z wartościami podanymi w tab. 1.



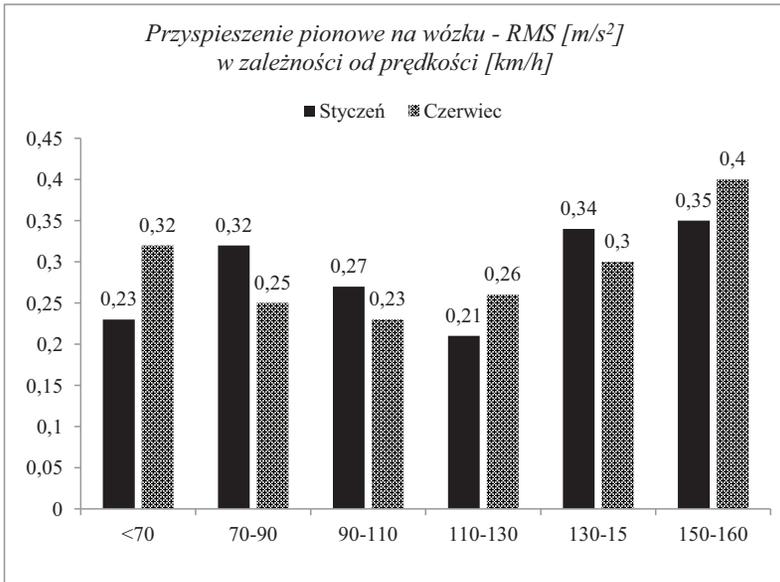
Rys. 8. Schemat rozmieszczenia członów nadwozia i wózków ED74



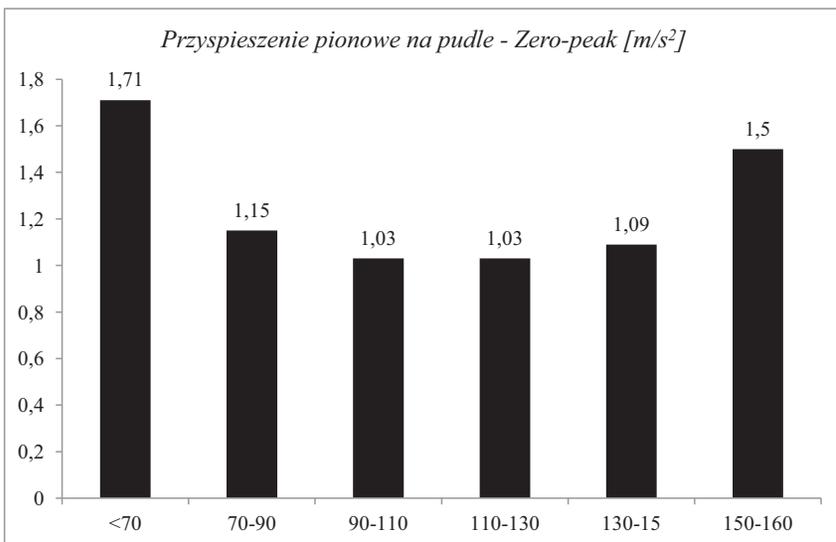
Rys. 9. Wartości RMS przyspieszenia pionowego na wózku E



Rys. 10. Rozkład średniej wartości RMS przyspieszenia pionowego na wózku w zależności od prędkości jazdy

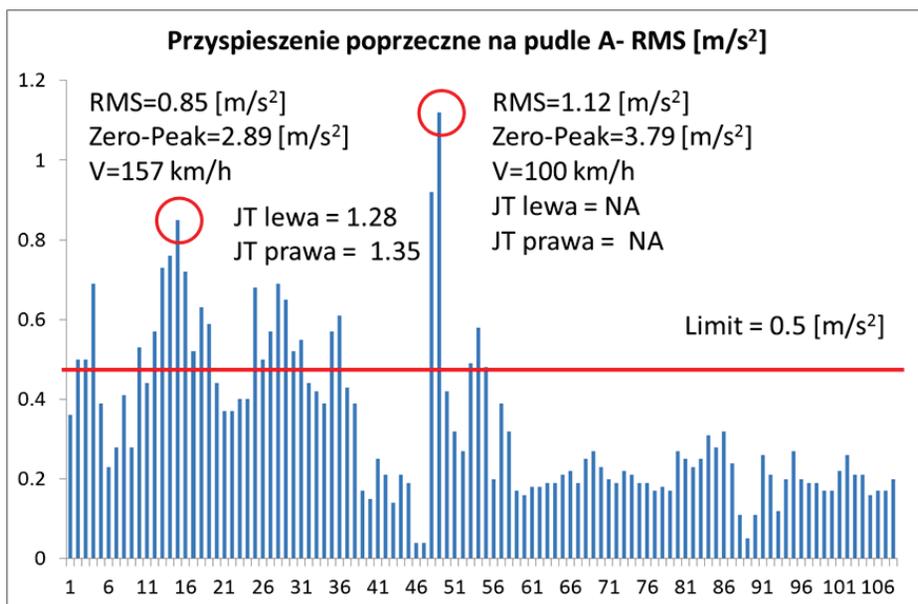


Rys. 11. Rozkład średniej wartości RMS przyspieszenia pionowego na pudle w zależności od prędkości jazdy



Rys. 12. Rozkład średniej wartości Zero-Peak (maksymalnej) przyspieszenia pionowego na pudle w zależności od prędkości jazdy (czerwiec)

Analiza wartości uśrednionych, będących efektem pomiarów pochodzących z szerszego zakresu czasu, może być przydatna w obserwacji trendu wartości miar diagnostycznych i przedstawiać pogarszanie stanu technicznego pojazdu i/lub toru. Na rys. 9-12 można zauważyć, iż prędkość jazdy nie ma dużego wpływu na uśrednione wartości miar sygnałów. Niemniej jednak należy równoległe analizować pojedyncze pakiety danych pod kątem przekroczeń wartości miar. Przykład takiej analizy sygnału przyspieszenia zarejestrowanego w kierunku poprzecznym na członie (pudle) *A* przedstawiono na rys. 13. Dla wybranych słupków oznaczonych okręgami (znaczące przekroczenia wartości dopuszczalnej) przytoczono dokładną wartość *RMS*, wartość *Zero-Peak*, średnią prędkość jazdy dla danego pakietu oraz średnią wartość wskaźnika jakości toru.



Rys. 13. Rozkład wartości *RMS* dla przejazdu z dnia 8 czerwca 2012 r. (JT – wskaźnik jakości toru)

Dla przejazdu z dnia 8 czerwca 2012 r. zarejestrowano 106 pakietów danych. W trakcie tego kursu wielokrotnie dochodziło do przekroczeń wartości granicznej *Zero-peak*, pomimo dobrego stanu toru. Niezależnie od przekroczeń wartości *Zero-peak*, wartości miary *RMS* nie zostały przekroczone. Może to wskazywać na zaistnienie przejazdu pojazdu po rozjazdach kolejowych – konieczna byłaby zatem bardziej dokładna analiza miejsca wskazanego położeniem geograficznym, które jest zapisywane w pakiecie danych w systemie monitorowania.

## 6. ANALIZA MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA SYSTEMU MONITOROWANIA W BADANIACH DOPUSZCZENIOWYCH

Dopuszczenie do eksploatacji jest niezbędnym wymogiem umożliwiającym eksploatację pojazdów kolejowych na liniach kolejowych zarządcy infrastruktury. Poprzez dopuszczenie do eksploatacji należy rozumieć czynności faktyczne i prawne konieczne do przekazania podsystemu lub pojazdu kolejowego do użytkowania zgodnie z jego przeznaczeniem. Organem upoważnionym do wydania tego rodzaju decyzji jest Urząd Transportu Kolejowego. Jeżeli chodzi o badania pojazdów kolejowych wykonywać mogą je jednostki certyfikujące, laboratoria badawcze czy podmioty wyznaczone. W zależności od przeznaczenia eksploatacyjnego pojazdu kolejowego oraz samego pojazdu należy wyodrębnić tutaj następujące rodzaje dokumentów dopuszczeniowych, tj.:

- a. zezwolenie na dopuszczenie do eksploatacji pojazdu zgodnego z TSI,
- b. zezwolenie na dopuszczenie do eksploatacji pojazdu niezgodnego z TSI,
- c. świadectwa dopuszczenia do eksploatacji.

Przedstawiony wyżej podział jest generalnym podziałem dokumentów związanych z dopuszczeniem nowych pojazdów do eksploatacji. Pojazdy, które zostały dopuszczone w innym państwie członkowskim UE również musiały przejść odpowiednie procedury badawcze pod kątem dopuszczeniowym. Natomiast pod kątem procedur administracyjnych mogą przyjąć inną „ścieżkę” dopuszczeniową.

Traktując zatem świadectwo dopuszczenia do eksploatacji, jako dokument upoważniający do swoistego rodzaju eksploatacji należy oprócz badań wykonać próby eksploatacyjne. Warunki przeprowadzenia prób eksploatacyjnych określone są w rozdziale 5 rozporządzenia w sprawie dopuszczenia do eksploatacji. Próby eksploatacyjne, o których mowa powinny być przeprowadzane przez uprawnione do tego podmioty, a więc przez podmiot, który będzie eksploatował pojazd (może być to np. producent), zarządcę infrastruktury oraz upoważnioną jednostkę badawczą. Ze względów formalnych próby te odbywają się na podstawie porozumienia w sprawie wykonania prób eksploatacyjnych zawieranych przez wymienione wyżej strony. Przeprowadzenie prób eksploatacyjnych odbywa się według określonego „scenariusza” badawczego określonego w programie prób eksploatacyjnych. Cały program prób eksploatacyjnych sporządzany jest przez upoważnioną do tego jednostkę badawczą biorącą udział w badaniach. Oczywiście ze względów formalnych przed samym rozpoczęciem prób eksploatacyjnych przed samym rozpoczęciem należy zebrać całą dokumentację umożliwiającą realizację tych prób. Jednym z tych elementów jest np. opinia techniczna zarządcy infrastruktury dotycząca przeznaczonego do prób pojazdu kolejowego. Skupiając się na próbach eksploatacyjnych danego pojazdu kolejowego należy zaznaczyć, że ich głównym celem jest potwierdzenie zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych w normalnej eksploatacji. Upoważniona jednostka badawcza przygotowując program prób eksploatacyjnych umieszcza w nim dokładny rodzaj pojazdu kolejowego, jaki będzie poddany tym próbom.

W programie prób eksploatacyjnych powinny ponadto znaleźć się informacje takie jak:

- nazwa jednostki badawczej biorącej udział w badaniach,
- nazwa przewoźnika kolejowego biorącego,

- nazwa zarządcy infrastruktury,
- nazwa producenta pojazdu,
- liczba pojazdów przeznaczonych do eksploatacji,
- numery fabryczne pojazdów przeznaczonych do eksploatacji,
- oraz jeżeli to możliwe wskazanie tras, na jakich pojazdy będą eksploatowane.

W przypadku realizacji prób eksploatacyjnych bardzo istotnym elementem jest ich zakres. Zaliczyć tutaj można następujące aspekty:

- okresowe kontrole stanu technicznego podzespołów pojazdu (układu biegowego, układu hamulcowego, sprzęgu samoczynnego, diagnostyki pokładowej, sterowania systemu klimatyzacji),
- ocenę podatności obsługowo-technicznej,
- ocenę bezpieczeństwa pasażerów i obsługi pojazdu,
- sprawdzenie możliwości jazdy w trakcji wielokrotnej w przypadku zespołów trakcyjnych i lokomotyw,
- wpływ pojazdu na urządzenia sterownia ruchem kolejowym,
- zestawienie ewentualnych awarii oraz ocenę ich przyczyn,
- badania ankietowe podróżnych i obsługi,
- ocenę bezpieczeństwa wykonywania poszczególnych czynności obsługowo-naprawczych oraz określenie ewentualnych źródeł zagrożenia,
- ocenę czytelności i funkcjonalności systemu diagnostyki pojazdu.

W trakcie realizacji prób eksploatacyjnych powinny być przestrzegane następujące zasady:

- badania podatności obsługowo-naprawczej powinny odbywać się w zakładach, w których możliwa jest realizacja czynności przeglądowo-naprawczych; personel tych zakładów powinien wykonywać czynności obsługowo-eksploatacyjne z udziałem przedstawicieli producenta i użytkownika,
- sama realizacja prób powinna odbywać się w normalnych warunkach eksploatacyjnych właściwych dla danego typu pojazdu kolejowego zgodnego z jego przeznaczeniem, dokumentacją techniczno-ruchową.

Efektem końcowym realizowanych prób eksploatacyjnych jest sporządzenie przez upoważnioną jednostkę badawczą biorącą udział w badaniach sprawozdania z prób eksploatacyjnych. Tak, więc sprawozdanie z przeprowadzonych prób eksploatacyjnych powinno zawierać:

- wyniki przeprowadzonych obserwacji i sprawdzeń,
- analizę zgromadzonego materiału (awarię, usterki, diagnostyka),
- wypełnione protokoły z przeglądów okresowych,
- ankiety wypełnione przez pasażerów,
- ankiety wypełnione przez obsługę pojazdu.

Należy tutaj zaznaczyć, że zgodnie z § 17 rozporządzenia w sprawie dopuszczenia do eksploatacji na wniosek podmiotu ubiegającego się o wydanie świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu zakres badań technicznych, może być ograniczony przez Prezesa Urzędu Transportu Kolejowego, w przypadku, gdy typ spełnia następujące warunki:

- posiada certyfikaty uprawnionych jednostek badawczych krajowych lub mających siedzibę na terytorium państw członkowskich Unii Europejskiej,

- był badany zgodnie z zakresem wymienionym w rozporządzeniu, posiada raporty potwierdzające pozytywne wyniki badań i jest eksploatowany na terytorium państw członkowskich Unii Europejskiej,
- posiada pozytywne opinie użytkowników z dotychczasowej eksploatacji, lub typ pojazdu kolejowego jest przeznaczony do modernizacji.

Zakres badań ten może być ograniczony zarówno w kwestii związanej z badaniami stacjonarnymi oraz samymi badaniami eksploatacyjnymi prowadzonymi podczas prób eksploatacyjnych.

## 7. PODSUMOWANIE

*System monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych i toru* może z powodzeniem być wykorzystywany w procesie dopuszczenia do eksploatacji pojazdu szynowego, a w szczególności pojazdu kolejowego. Zarówno w samym procesie badawczym związanym z badaniami stanowiskowymi, jak również realizowanymi próbami eksploatacyjnymi należy zaznaczyć, że monitorowanie pojazdu kolejowego podczas realizacji przewozów pasażerskich jest niezwykle istotne. W procesie dopuszczenia do eksploatacji przeprowadzenie tego rodzaju prób eksploatacyjnych wymaga poniesienia kosztów przez producenta wprowadzającego do użytku nowo-eksploatowany pojazd, lub pojazd, który został poddany modernizacji [11]. W tym przypadku, kiedy główna konstrukcja pojazdu nie ulega zmianie natomiast zmienione są np. elementy poprawiające własności trakcyjne, czy poprawiające komfort podróżujących pasażerów, niepotrzebne jest przeprowadzanie szczegółowych badań dopuszczeniowych, zgłasza się jedynie, że pojazd ten był już eksploatowany. W takich przypadkach wykorzystanie przedstawianego w artykule *Systemu monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych i toru* przyczyniłoby się do skrócenia prób eksploatacyjnych, a co za tym idzie obciążeń finansowych z tym związanych.

Na uwagę zasługuje jeszcze jeden aspekt wykorzystania przedstawianego systemu. Mianowicie koncentrując się na urządzeniach związanych z prowadzeniem ruchu kolejowego, wchodzących zarówno w skład podsystemu strukturalnego sterowanie, jak również urządzeń przeznaczonych do prowadzenia ruchu kolejowego na infrastrukturze wydzielonej np. typu metro, możliwe jest wykorzystanie *Systemu monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych i toru*.

W rozdziale 3, rozporządzenia w sprawie dopuszczenia do eksploatacji określone jest, że na urządzenia/systemy związane z wykrywaniem stanów awaryjnych pojazdów kolejowych podczas biegu, urządzenia związane z oddziaływaniami tor – pojazd, oraz urządzenia kontroli prowadzenia pociągu wydawane są świadectwa dopuszczenia do eksploatacji. W tym samym rozporządzeniu w rozdziale 4 określającym zakres badań technicznych koniecznych do wydania świadectwa dopuszczenia do eksploatacji typu oraz stwierdzenia zgodności z typem określone jest, że powinny być przeprowadzone badania systemu diagnostycznego i transmisji danych diagnostycznych. *System monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych i toru* niewątpliwie jest swoistego rodzaju

systemem diagnostycznym, który może być zainstalowany i wykorzystany do diagnostyki na pojeździe przeznaczonym do przewozu pasażerów (np. elektryczny zespół trakcyjny) do wykrywania stanów awaryjnych pojazdu kolejowego podczas biegu.

Tak, więc z punktu widzenia samych urządzeń związanych z podsystemem sterowania, jak również z punktu widzenia pojazdu i urządzeń/systemów związanych z ogólnie rozumianą diagnostyką pojazdu kolejowego, sam system mógłby posiadać świadectwo dopuszczenia do eksploatacji. Natomiast samo wykorzystanie w rozwiązaniach konstrukcyjnych pojazdów kolejowych mogłoby stanowić alternatywę dla stosowanych oraz używanych rozwiązań komercyjnych.

### Bibliografia

1. Alfi S., Bionda S., Bruni S., Gasparetto L., 2011, Condition monitoring of suspension components in railway bogies, 5th IET Conference on Railway Condition Monitoring and Non-Destructive Testing (RCM 2011), January 2011.
2. Bogacz, R., Chudzikiewicz, A., Meinke, P., 2009, *Ocena jakości toru kolejowego na podstawie pomiarów wielkości fizycznych mierzonych na korpusie łożysk zestawów kołowych*, Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena Jej żywotności MONIT, Materiały seminarium WT PW 2009, pp. 117-122.
3. Bogacz, R., Chudzikiewicz, A., Meinke, P., 2009, *Ocena jakości toru kolejowego i układów biegowych na podstawie wielkości fizycznych mierzonych na korpusach łożysk zestawów kołowych*, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, Nr 91, z. 149, pp. 549-565.
4. Bogacz R., Czyczula W., Konop J., 2012, *Monitorowanie stanu toru pojazdami szynowymi wyposażonymi w czujniki przyspieszeń na korpusach łożysk zestawów kołowych*, [w:] Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania w Transporcie Szynowym, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej, seria: Materiały Konferencyjne, nr 3(99), pp. 19-33.
5. Bogacz R., Czyczula W., Konowrocki R., 2014, *Effect of periodicity of railway track and wheel-rail interaction on wheelset-track dynamics*, Archive of Applied Mechanics Volume 85, Issue 9, pp. 1321-1330.
6. Bogacz R., Grzyb A., Tokaj P., 2011, *Monitorowanie stanu pojazdu i toru na podstawie pomiaru przyspieszeń na korpusach łożysk zestawu kołowego*, Czasopismo Techniczne z. 4. Mechanika z. 2-M, pp. 11-23.
7. Chudzikiewicz A., Bogacz R., Kostrzewski M., 2015, *Using Acceleration Signals Recorded on a Railway Vehicle Wheelsets for Rail Track Condition Monitoring*, The e-Journal of Nondestructive Testing, Vol.20 No.2 (Feb 2015), ISSN 1435-4934, pp. 167-174 <http://www.ndt.net/article/ewshm2014/papers/0381.pdf> (accessed on-line: 2.02.2015)
8. Chudzikiewicz A., Drożdźiel J., Sowiński B., 2012, *Practical Solution of Rail Vehicle and Track Dynamics Monitoring System*. Structural Health Monitoring II Book Series: Key Engineering Materials, vol. 518, pp. 271-280.
9. Chudzikiewicz A., Drożdźiel J., Sowiński B., 2009, *Ocena stanu pojazdu szynowego na podstawie badań symulacyjnych*, Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena Jej żywotności MONIT, Materiały seminarium WT PW 2009, pp.123-130.
10. Chudzikiewicz A., Kostrzewski M., 2013, *Analiza sygnałów wibroakustycznych w procesie monitorowania stanu zawieszenia pojazdów szynowych oraz toru*, Pojazdy Szynowe 1/2013, ISSN 0138-0370, Poznań, Poland, pp. 10-17.

11. Chudzikiewicz A., Koziak S., 2015, *Procedure of decision making supported by computer simulation in the process of authorised placed into service*, Polish - Slovak Scientific Workshop Dynamical Problems in Rail Vehicles, ISBN 978-83-7814367-3, pp. 81-92.
12. Chudzikiewicz A., Sowiński B., 2011, *Simulation Method of Selection of Diagnostic Parameters in the Process of Monitoring the Rail Vehicle's Conditions*. Structural Health Monitoring 2011: Condition-Based Maintenance and Intelligent Structures, Book Series: Structural Health Monitoring Vol. 1, pp. 1103-1110.
13. Chudzikiewicz A., Sowiński B., 2010, *Problems of choosing statistical parameters in the process of monitoring the system of railway vehicle*. BOGIE '10 - The 8th International Conference on Railway Bogies and Running Gears, Budapest, 13-16 September, Materiały Konferencyjne CD, pp. 1-14.
14. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 października 2005 r. w sprawie ogólnych warunków technicznych eksploatacji pojazdów kolejowych (Dz. U. z 2005 nr 212 poz. 1771 z późn. zm.).
15. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Rozwoju z dnia 13 maja 2014 r. w sprawie dopuszczania do eksploatacji określonych rodzajów budowli, urządzeń i pojazdów kolejowych (Dz. U. z 2014 poz. 720).
16. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 27 grudnia 2012 r. w sprawie wykazu właściwych krajowych specyfikacji technicznych i dokumentów normalizacyjnych, których zastosowanie umożliwia spełnienie zasadniczych wymagań dotyczących interoperacyjności systemu kolei (Dz. U. z 2013 poz. 43).
17. Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 6 listopada 2013 r. w sprawie interoperacyjności systemu kolei (Dz. U. z 2013 poz. 1297 z późn. zm.).
18. Ustawa z dnia 28 marca 2003 r. o transporcie kolejowym (Dz. U. z 2013 r. poz. 1594, z późn. zm.).
19. Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 roku o systemie oceny zgodności (Dz. U. z 2002 nr 166 poz. 1360 z późn. zm.)
20. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/57/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku w sprawie interoperacyjności kolei.
21. Fassois S.D., Dimogianopoulos D.G., 2005, *Fault Detection and Identification in Stochastic Mechanical Systems: An Overview with Applications*, The 5th National Conference of the Hellenic Society for Non-Destructive Testing, Athens, Greece, November 18–19.
22. Hayashi Y., Tsunashima H., Marumo Y., 2008, *Fault Detection of Railway Vehicle Suspension Systems Using Multiple-Model Approach*. Journal of Mechanical Systems for Transportation and Logistics Vol. 1, No. 1, 2008, pp. 88–99.
23. Konop J., Konowrocki R., 2013, *On Evaluation of the Wheelsets-Track Interaction Quality in Railway Engineering*, Machine Dynamics Research, Vol.37, No. 4, pp.5-14.
24. Kostrzewski M., Chudzikiewicz A., 2015, *Rail vehicle and rail track monitoring system – a key part in transport sustainable development*. Zeszyty Naukowe Wyższej Szkoły Bankowej we Wrocławiu, R. 15, Nr 1, ISSN 1643-7772, pp. 59-74.
25. Kostrzewski M., Konowrocki R., 2014, *Ocena stanu wybranych odcinków toru testowego z wykorzystaniem wskaźnika jakości toru*, Pojazdy Szynowe 2/2014, Poznań, pp. 1-17.
26. Kostrzewski M., Melnik R., Koziak S., 2014, *Wskaźniki oceny dynamiki pojazdu szynowego w kontekście badań dopuszczeniowych*, Logistyka 4/2014, ISSN 1231-5478, pp. 2007-2022.
27. Mei T.X., Ding X.J., 2009, *Condition monitoring of rail vehicle suspensions based on changes in system dynamic interactions*, Vehicle System Dynamics, 47: 9, 2009, pp. 1167–1181.
28. Melnik R., Chudzikiewicz A., 2013, *Assesment of The EMU and Track Condition Monitoring Results from Chosen Track Sections During Normal Operation*, Logistics and Transport, Vol. 20, No 4, pp. 99-106.

29. Melnik R., Kostrzewski M., 2012, *Rail Vehicle's Suspension Monitoring System - Analysis of Results Obtained from Tests of the Prototype*, Structural Health Monitoring II Book Series: Key Engineering Materials, vol. 518 (2012), ISSN 1662-9795, pp. 281-288.
30. Melnik R., Sowiński B., 2013, *Application of the Rail Vehicle's Monitoring System in the Process of Suspension Condition Assessment*, Communications - Scientific Letters of the University of Zilina, vol. 15, No. 4, 2013, pp. 3-8. ISSN 1335-4205.
31. Melnik R., Sowiński B., 2014, *Metoda detekcji uszkodzeń zawieszenia pojazdu szynowego dla systemu monitorowania*, Pojazdy Szynowe, vol. 2.
32. Melnik R., Sowiński B., 2014, *The Analysis of Rail Vehicle Model Eigenvalues for Suspension Fault Detection Method*. 14th Mini Conference on VEHICLE SYSTEM DYNAMICS, IDENTIFICATION AND ANOMALIES, Budapest, Hungary 10-12 November, 2014. Book of Abstracts.
33. Welch Peter D., 1967, *The use of fast fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodogram*, IEEE Transactions on Audio Electroacoustics, vol. AU-15 (June 1967), pp. 70-73.
34. Wei X., Lin S., Liu H., 2012, *Distributed fault detection observer for rail vehicle suspension systems*. 2012 24th Chinese Control and Decision Conference (CCDC), Taiyuan, China, 23-25 May 2012, pp. 3396-3401. DOI 10.1109/CCDC.2012.6244541
35. PN-EN 14363:2007. Kolejnictwo - Badania właściwości dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem do ruchu - Badanie właściwości biegowych i próby stacjonarne. 2007.
36. PN-EN ISO/IEC 17025 Ogólne wymagania dotyczące kompetencji laboratoriów badawczych i wzorujących
37. UIC 518. Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour - Safety - Track fatigue - Ride quality, 4-2009, ISBN 978-2-7461-1642-9.

### Podziękowania

Wyniki badań wykorzystane w pracy zostały wykonane ramach projektu badawczego MONIT – Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena jej Żywotności. Program Operacyjny – Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Poddziałanie 1.1.2 – Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych. Finansowanie artykułu nastąpiło z pracy statutowej Zespołu Naukowo-Dydaktycznego Modelowania i Diagnostyki Technicznych Środków Transportu (Wydział Transportu, Politechnika Warszawska) nr 504P/1160/3884.

### POTENTIAL OF USING THE RAIL VEHICLE'S AND RAIL TRACK MONITORING SYSTEM IN A PROCESS OF VEHICLES BEING PERMISSIBLE TO EXPLOITATION

**Summary:** The paper introduces the possibility of usage of the *Rail vehicle and track monitoring system* in terms of homologation process according to Polish law. The set of diagnostic parameters for vehicle and track condition assessment is presented. Moreover, exemplary results of the monitoring system supervised exploitation (installed on EMU) are analyzed. The conclusions on the diagnostic parameters are described in terms of homologation and the proposals of further works are presented.

**Keywords:** homologation process, vehicle-track system, track condition, vehicle condition, railway vehicle