

## Analiza sygnałów wibroakustycznych w procesie monitorowania stanu zawieszenia pojazdów szynowych oraz toru

*Przedmiotem artykułu jest analiza wyników pomiarów przyspieszeń na wybranych elementach pojazdu szynowego, na którym został zainstalowany prototyp Systemu monitorowania stanu i diagnozowania po-jazdów szynowych oraz toru. Pośród tych elementów wyróżnia się: obudowy łożysk maźniczych, ramy wózków i nadwozia wagonów lub członów pojazdu szynowego. Analizy dokonano na przykładzie wybranego fragmentu krajowej sieci kolejowej – rozpatrzeniu poddano przejazd pojazdu szynowego wzdłuż określonego odcinka linii kolejowej numer 3. Wyniki pomiarów zostały odpowiednio przekształcone tj. przeliczone do wartości określonych wskaźników diagnostycznych. Wartości wskaźników diagnostycznych, po porównaniu z wartościami dopuszczalnymi (określonymi dla każdego typu wskaźników przy uwzględnieniu lokalizacji miejsc pomiarowych), pozwalają na monitorowanie typowych dynamicznych zachowań pojazdu szynowego i stanu toru oraz temperatury maźnic zestawów kołowych pojazdu szynowego oraz na określenie stanu technicznego konstrukcji rozpatrywanego pojazdu szynowego. Celem analiz jest określenie użyteczności poszczególnych wskaźników diagnostycznych przy jednoczesnym wskazaniu dalszych kierunków badań nad systemem.*

### 1. Wprowadzenie

W ramach projektu badawczego *MONIT* – „Monitorowanie Stanu Technicznego Konstrukcji i Ocena jej Żywotności” – realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (PO IG) Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych opracowywane są systemy i rozwiązania znajdujące zastosowanie m.in. w: lotnictwie, energetyce, przemyśle chemicznym oraz przy monitorowaniu stanu technicznego konstrukcji budowlanych czy wreszcie w transporcie. Jednym z przygotowywanych rozwiązań jest Systemu monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru. Zadaniem systemu jest monitorowanie typowych dynamicznych zachowań pojazdu szynowego i stanu toru oraz temperatury maźnic zestawów kołowych pojazdu szynowego. Wobec prawidłowego funkcjonowania systemu na etapie jego eksploatacji nadzorowanej analizowane są dane uzyskane w wyniku pomiarów w trakcie przejazdów pojazdu szynowego, na którym zainstalowano prototyp systemu.

Przedmiotem artykułu jest analiza wyników pomiarów przyspieszeń na maźnicach, ramach wózków i nadwoziach (pułdach) wagonów lub członów pojazdu szynowego. Analizy dokonano na przykładzie wybranego fragmentu krajowej sieci kolejowej.

System monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru umożliwia monitorowanie stanu pojazdu poprzez akwizycję i wstępną analizę danych drganiowych oraz procesowych. Zmierzone dane poddawane są obróbce cyfrowej oraz walidacji. W przypadku wykrycia nieprawidłowości informacja o niej przesyłana jest na zewnętrzny serwer w postaci pakietu kontrolnego za pośrednictwem modemu GSM. Również dane uzyskane w wyniku pomiarów mogą być wysyłane na serwer w postaci pakietu danych.

Monitorowanie stanu pojazdów szynowych jest prowadzone on-line (na bieżąco), a zbierane przez czujniki sygnały są na bieżąco analizowane i gromadzone w bazach danych serwera systemu.

Opracowana została struktura funkcjonalna systemu (rys. 1.). Sygnały z czujników są przesyłane drogą przewodową do lokalnej jednostki akwizycji danych zamontowanej na pojeździe. Następnie sygnały są przesyłane (także drogą przewodową) do centralnej jednostki akwizycji danych, gdzie podlegają wstępnej analizie. W dalszej kolejności sygnały z centralnej jednostki akwizycji danych przesyłane są drogą bezprzewodową do serwera systemu gdzie podlegają szerszej analizie i są gromadzone w bazie danych. W wyniku analizy obliczane są odpowiednie.

wskaźniki diagnostyczne (amplituda, wartość średniokwadratowa, współczynnik kurtozy, rozstęp międzykwartylowy, jakość toru) charakteryzujące stan techniczny, a następnie generowane są informacje jakościowe o stanie technicznym. Informacje te są na bieżąco przesyłane do odpowiednich służb nadzorujących ruch pojazdu oraz służb odpowiedzialnych za stan techniczno-eksploatacyjny pojazdu i toru. Ruch pojazdu jest opisany współrzędnymi geograficznymi i jest widoczny na elektronicznej mapie Polski, zatem informacje o pojeździe i stanie toru są jednoznacznie identyfikowane z miejscem w terenie. W związku z tym operator pojazdu otrzymuje informacje o zachowaniu się pojazdu na odpowiednim szlaku. Gromadzone w bazie danych informacje są wykorzystywane do oceny stanu technicznego elementów podatnych i tłumiących I i II stopnia sprężynowania pojazdu oraz do oceny stanu toru. Bazując na tych informacjach możliwe jest podejmowanie decyzji o koniecznych naprawach, remontach czy wymianach elementów pojazdu

System monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru składa się z następujących podsystemów (rys 1.):

- podsystemu pokładowego,
- podsystemu użytkownika,
- podsystemu serwera przetwarzania danych,

Podsystem pokładowy ma budowę modułową. Składa się z modułu centralnej jednostki akwizycji danych oraz pewnej liczby modułów lokalnych jednostek akwizycji danych zależnej od liczby członów wchodzących w skład pojazdu szynowego.

Podsystem użytkownika składa się z następujących komponentów:

- centralna jednostka akwizycji danych,
- lokalne jednostki akwizycji danych (podzespół predefiniowany na potrzeby systemu),
- czujniki przyspieszeń
- czujniki temperatury,
- oprogramowanie.

Centralna jednostka akwizycji danych (CJAD) to komputer przemysłowy używany w kolejnictwie, zgodny ze standardem EN50155.

Centralna jednostka akwizycji danych znajduje się w jednym ze skrajnych członów pojazdu szynowego. Jedna centralna jednostka akwizycji danych przypada na jeden pojazd szynowy.

Rolą jej jest zbieranie sygnałów z lokalnych jednostek akwizycji danych, przeprowadzanie analiz w oparciu o te sygnały oraz przesyłanie pakietów danych i pakietów kontrolnych do podsystemu serwera przetwarzania danych.

Komunikacja między centralną jednostką akwizycji danych a lokalnymi jednostkami akwizycji danych odbywa się drogą kablową za pośrednictwem sieci typu *Ethernet*.

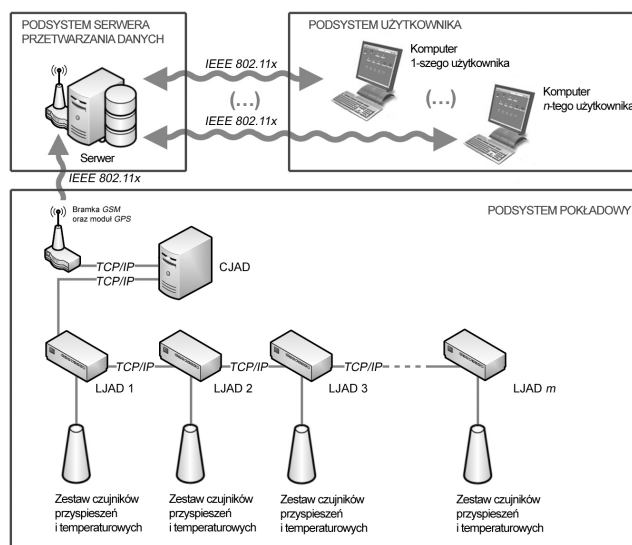
Komunikacja między centralną jednostką akwizycji danych a podsystemu serwera przetwarzania danych odbywa się bezprzewodowo, za pośrednictwem systemu telekomunikacji *GSM*.

Lokalne jednostki akwizycji danych (LJAD) zabudowane są w szczelnych obudowach. Jedna lokalna jednostka akwizycji danych przypada na jeden człon pojazdu szynowego.

Rolą lokalnych jednostek akwizycji danych jest zbieranie, kondycjonowanie i koordynacja sygnałów pochodzących z czujników, a także przesyłanie sygnałów do centralnej jednostki akwizycji danych.

Komunikacja między centralną jednostką akwizycji danych a lokalnymi jednostkami akwizycji danych odbywa się drogą kablową za pośrednictwem sieci typu *Ethernet*. Natomiast komunikacja między lokalnymi jednostkami akwizycji danych a czujnikami odbywa się drogą przewodową.

Na rys. 2. przedstawiono schemat elektrycznego zespołu trakcyjnego ED74, tj. pojazdu, na którym został zainstalowany prototyp systemu, wraz z uwzględnieniem symbolicznych oznaczeń wózków pojazdu szynowego oraz przyporządkowaniem im lokalnych jednostek akwizycji danych (LJAD) stanowiących część składową Systemu monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru. Gromadzenie i przesył danych do centralnej jednostki akwizycji danych (CJAD) w przypadku wózka napędowego oznaczonego symbolem A jest realizowane przez LJAD5; w przypadku wózka tocznego oznaczonego symbolem B jest realizowane przez LJAD4; w przypadku wózka tocznego oznaczonego symbolem C jest realizowane przez LJAD3; w przypadku wózka tocznego oznaczonego symbolem D jest realizowane przez LJAD2; w przypadku wózka napędowego oznaczonego symbolem E jest realizowane przez LJAD1.



Rys. 1. Schemat system monitorowania stanu i diagnozowania pojazdów szynowych oraz toru Źródło: opracowanie własne



Rys. 2. Schemat elektrycznego zespołu trakcyjnego ED74 0001 wraz z uwzględnieniem symbolicznych oznaczeń wózków pojazdu szynowego oraz przyporządkowaniem im lokalnych jednostek akwizycji danych (LJAD) Źródło: opracowanie własne na podstawie [8, 9]

Wybraną dla przeprowadzenia analiz pomiarów jest trasa stanowiąca część składową linii kolejowej nr 3, łączącej Warszawę Zachodnią z Frankfurtem nad Odrą. Linia kolejowa nr 3 stanowi jednocześnie fragment międzynarodowej linii kolejowej E20. Dokładniej rzecz ujmując rozpatrywana trasa to linia kolejowa pomiędzy Warszawą a Poznaniem (wyłączenie w relacji Warszawa-Poznań). Pojazd szynowy na tej trasie przemieszczał się w następujących dniach (przy uwzględnieniu pomiarów do dnia 7 lutego 2012 r.): 18, 19 listopada 2011 r., 23, 25, 26 stycznia 2012 r.

W poszczególnych dniach zarejestrowane zostały następujące liczby pakietów:

- 18 listopada 2011 r.: wózek A: 97 pakietów, wózek B: 97 pakietów, wózek C: 27 pakietów, wózek D: 96 pakietów, wózek E: 97 pakietów,
- 19 listopada 2011 r.: wózek A: 107 pakietów, wózek B: 108 pakietów, wózek C: 108 pakietów, wózek D: 108 pakietów, wózek E: 105 pakietów,
- 23 stycznia 2012 r.: wózek A: 15 pakietów, wózek B: 12 pakietów, wózek C: 34 pakiety, wózek D: 45 pakietów, wózek E: 46 pakietów,
- 25 stycznia 2012 r.: wózek A: 0 pakietów, wózki B, C, D, E: po 88 pakietów,
- 26 stycznia 2012 r.: wózek A: 16 pakietów, wózek B: 47 pakietów, wózek C: 46 pakietów, wózek D: 47 pakietów, wózek E: 43 pakiety.

W artykule każdorazowo, gdy mowa jest o przekroczeniach wartości dopuszczalnych dotyczących wskaźników diagnostycznych, odnosi się to do wartości wskazanych w tabeli 1.

## 2. Analiza wybranych parametrów statystycznych

W artykule analizie poddane są dwa wskaźniki diagnostyczne: *Amplituda*, *Wartość średniokwadratowa*. Pozostałe wskaźniki diagnostyczne nie są analizowane z uwagi na fakt, że trwają prace nad warto-

ściami dopuszczalnymi ich dotyczącymi. Dodatkowo omówieniu podlega *Współczynnik kurtozy*.

### Amplituda

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w karcie UIC518 amplitudę sygnału rozpatruje się poprzez pryzmat jej percentyla 99,85%.

Z uwagi na nierównomierny rozkład liczb przesyłanych pakietów nie można jednoznacznie stwierdzić, w przypadku którego wózka występowało najwięcej przekroczeń wartości wskaźników diagnostycznych. Można jedynie wskazać procentowy udział liczby pakietów zawierających przekroczenia wobec łącznej liczby pakietów rozpatrzonych przez oprogramowanie analizujące przypadającej na poszczególne wózki pojazdu szynowego. W przypadku analizowania dopuszczalnych poziomów *Amplitudy* wyniki zawarto w tabeli 2. (wartości uznane za najwyższe pogrubiono). W ujęciu procentowym, w przypadku rozpatrywanych wskaźników diagnostycznych, do przekroczenia ich dopuszczalnych wartości najczęściej dochodzi w przypadku wózków o skrajnym położeniu tj. wózków napędowych A i E oraz w przypadku wózka D. Z kolei najwięcej, w ujęciu bezwzględnym, przekroczeń dotyczy wózków E oraz D (tabela 2.) oraz nadwozi pojazdu szynowego A i B/A (tabela 2.) w przypadku *Amplitudy*.

Z uwagi na duże liczby zarejestrowanych przekroczeń w przypadku parametru statystycznego *Amplituda* utrudnione jest przedstawienie przykładu zestawienia pakietów zawierających przekroczenia. Na przykład w dniu 26 stycznia 2012 r., na wózku A, nastąpiło zarejestrowanie przez odpowiednie czujniki 190 przekroczeń „skupionych” w 7 pakietach, [10]. Jak wykazały analizy, do największych przekroczeń doszło w miejscach rozjazdów kolejowych w okolicy dworca kolejowego Poznań Wschód, [10]. Ze względu na liczbę przekroczeń nie jest możliwe przytoczenie identyfikacji miejsc ich wystąpienia w artykule.

*Amplituda* ze względu na silną podatność na zmiany w badanym układzie (pojazd szynowym-tor) nie jest skutecznym wyznacznikiem przy monitorowaniu pojazdu prowadzącym do jego diagnozowania. Przejawem tego jest zdecydowanie rozbieżne procentowe porównanie *liczby pakietów z przekroczeniami* przypadającej na *łączną liczbę pakietów* w przypadku każdego z rozpatrywanych wózków pojazdu szynowego (tabela 2.).

Wartości dopuszczalne rozpatrywanych wskaźników diagnostycznych Tabela 1.

Lokalizacja punktu pomiarowego	Kierunek	Amplituda [m/s <sup>2</sup> ]	Wartość średniokwadratowa [m/s <sup>2</sup> ]	Współczynnik kurtozy	Rozstęp międzykwartyłowy	Stan toru
Nadwozie	poprzeczny	2,5	0,5	W fazie opracowywania		
	pionowy	2,5	0,75			
Rama wózka	poprzeczny	10,9	5			
	pionowy	20	7			
Obudowa maźnicy	poprzeczny	18	-			
	pionowy	76	-			

Źródło: opracowanie na podstawie [6, 8]

Tabela 2.

Analiza przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Amplitudy* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego (\* E-Ø; \*\* E-czujnik 6, pionowy kierunek pomiaru)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E	
Liczba pakietów z przekroczeniami/ Łączna liczba pakietów	18.11.11	29/97 (30%)	32/97 (33%)	1/27 (4%)	<b>33/96 (34%)</b>	21/97 (22%)
	19.11.11	<b>54/107 (50%)</b>	35/108 (32%)	32/108 (30%)	39/108 (36%)	37/105 (35%)
	23.01.12	5/15 (33%)	3/12 (25%)	16/34 (47%)	17/45 (38%)	<b>29/46 (63%)</b>
	25.01.12	-	25/88 (28%)	27/88 (31%)	<b>29/88 (33%)</b>	24/88 (27%)
	26.01.12	7/16 (44%)	24/47 (51%)	23/46 (50%)	18/47 (38%)	<b>29/43 (67%)</b>
Czujnik 1, kierunek poprzeczny* <sup>1</sup>	76	278	219	<b>807</b>	-	
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	0	477	252	<b>665</b>	-	
Czujnik 3, kierunek pionowy	888	1368	1090	1920	<b>2568</b>	
Czujnik 4, kierunek pionowy**	1137	1378	1508	462	<b>1860</b>	
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D	
Czujnik 5, kierunek pionowy	276	220	117	234	98	
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	84	<b>154</b>	3	87	-	

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

Tabela 3.

Analiza przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Wartość średniokwadratowa* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego (\* E-Ø; \*\* E-czujnik 6, pionowy kierunek pomiaru)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E	
Liczba pakietów z przekroczeniami/ Łączna liczba pakietów	18.11.11	17/97 (17%)	14/97 (14%)	3/27 (11%)	0/96 (0%)	0/97 (0%)
	19.11.11	19/107 (19%)	3/108 (3%)	2/108 (2%)	6/108 (6%)	8/105 (8%)
	23.01.12	0/15 (0%)	0/12 (0%)	1/34 (1%)	2/45 (1%)	1/46 (1%)
	25.01.12	-	0/88 (0%)	0/88 (0%)	1/88 (1%)	0/88 (0%)
	26.01.12	0/16 (0%)	0/47 (0%)	0/46 (0%)	0/47 (0%)	0/43 (0%)
Czujnik 1, kierunek poprzeczny*	0	0	0	0	-	
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	0	0	0	<b>1</b>	-	
Czujnik 3, kierunek pionowy	5	1	4	3	<b>6</b>	
Czujnik 4, kierunek pionowy**	7	1	3	1	3	
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D	
Czujnik 5, kierunek pionowy	9	<b>12</b>	0	1	1	
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	<b>15</b>	3	0	3	-	

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

Tabela 4.

Liczby przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Wartości średniokwadratowej* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego w dniu 23 stycznia 2012 r. (\* E-Ø; \*\* E-czujnik 6, kierunek pionowy)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E
Czujnik 1, kierunek poprzeczny*	0	0	0	0	-
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	0	0	0	0	-
Czujnik 3, kierunek pionowy	0	0	1	1	1
Czujnik 4, kierunek pionowy**	0	0	1	0	1
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D
Czujnik 5, kierunek pionowy	0	0	0	0	0
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	0	0	0	1	-

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

### Wartość średniokwadratowa (RMS)

W przypadku analizowania dopuszczalnych poziomów *Wartości średniokwadratowej* wyniki zawarto w tabeli 3. Najwięcej przekroczeń tego parametru, w ujęciu bezwzględnym, dotyczy wózków A, E i nadwozia A (tabela 3.). Przy czym, ze względu na odmienną konfigurację czujników, w przypadku wózka E brak jest danych dotyczących przekroczeń w przypadku czujników 1, 2 umiejscowionych na wózku, a także czujnika 6 umiejscowionego na nadwoziu. Gdyby danymi dysponowano, niewykluczone, że to wózek E byłby „obciążony” największą liczbą

przekroczeń dopuszczalnych wartości parametru statystycznego, co dotyczy także *Amplitudy*. W tabeli pogrubiono wartości uznane za najwyższe.

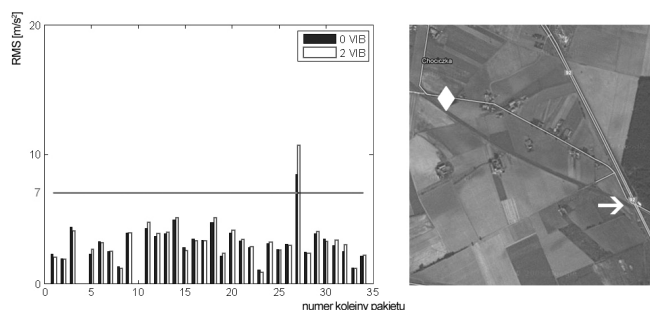
Szczegółowy wykaz pakietów (ze zmienionymi na potrzeby artykułu nazwami pakietów – pakietom z nadano numery kolejne), w odniesieniu do tabeli 4., zawierających przekroczenia *Wartości średniokwadratowej* w dniu 23 stycznia 2012 r., z podziałem na elementy pojazdu szynowego:

- wózek C: *Pakiet nr 1*:  $RMS_{0VB} = 8,47$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ;

*Pakiet nr 2:*  $RMS_{2VIB} = 10,66$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ;

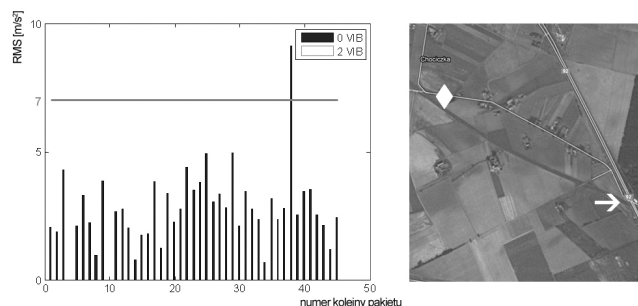
Obydwa ww. przekroczenia zostały zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 4. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą nr 92 (rys. 4., symbol białej strzałki).

- nadwozie D/C: *Pakiet nr 3:*  $RMS_{9VIB} = 0,51$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 0,50$ ; Przekroczenie zostało zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 7. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą w okolicy miejscowości Barłogi (rys. 7., symbol białej strzałki).
- wózek D: *Pakiet nr 4:*  $RMS_{0VIB} = 9,13$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ; Przekroczenie zostało zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 5. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczenia doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą nr 92 (rys. 5., symbol białej strzałki).
- wózek E: *Pakiet nr 5:*  $RMS_{0VIB} = 8,31$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ ;  
*Pakiet nr 6:*  $RMS_{1VIB} = 7,46$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ .  
 Obydwa ww. przekroczenia zostały zarejestrowane w systemie na odcinku trasy zapoczątkowanym w miejscu oznaczonym na rys. 6. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu przejazdu kolejowego krzyżującego linię kolejową nr 3 z drogą w miejscowości Milin (rys. 6., symbol strzałki).



Rys. 4. Figura po lewej: wykres dla  $RMS$  obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla wózka C – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujników pomiarowych: czujnik 3, czujnik 4; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej  $RMS$  w okolicy miejscowości Chociczka

Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu *MATLAB*, autor: Melnik R.; Google maps



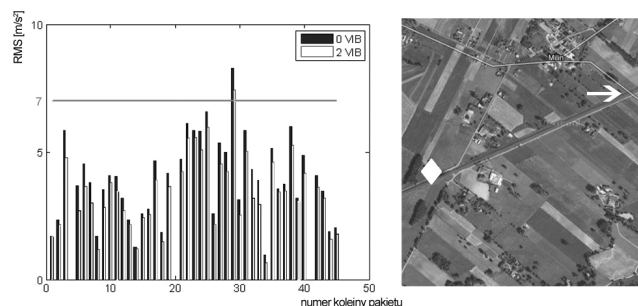
Rys. 5. Figura po lewej: wykres dla  $RMS$  obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla wózka D – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujnika 3; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej  $RMS$  w okolicy miejscowości Chociczka

Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu *MATLAB*, autor: Melnik R.; Google maps

Jedyny pakiet, w odniesieniu do tabeli 5., zawierający przekroczenie *Wartości średniokwadratowej* w dniu 25 stycznia 2012 r., zarejestrowany został na:

- wózku D:  
*Pakiet nr 7:*  $RMS_{0VIB} = 7,15$  przy progowej wartości  $RMS_{gr} = 7,00$ .  
 Przekroczenie zarejestrowano w miejscu na trasie oznaczonym na rys. 8. symbolem białego rombu. Prawdopodobnie do przekroczeń doszło w miejscu złączy szyn w okolicy stacji Koło (oznaczonego na rys. 8. symbolem białej strzałki).

W dniu 26 stycznia 2012 r. nie zarejestrowano przekroczeń *Wartości średniokwadratowych*.



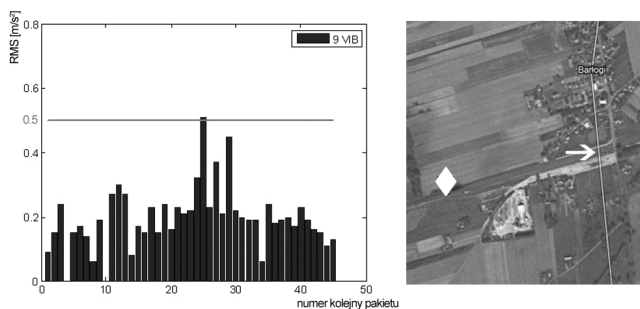
Rys. 6. Figura po lewej: wykres dla  $RMS$  obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla wózka E – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujników pomiarowych: czujnik 3, czujnik 4; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej  $RMS$  w okolicy miejscowości Milin

Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu *MATLAB*, autor: Melnik R.; Google maps

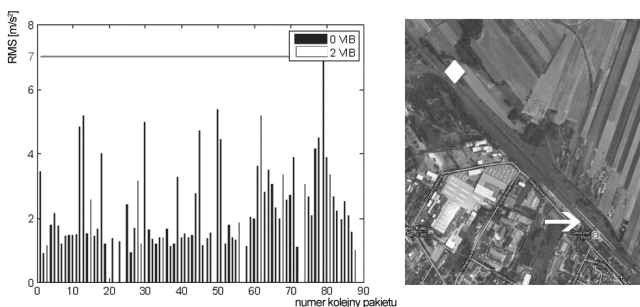
### **Współczynnik kurtozy**

W przypadku rozpatrywania współczynnika kurtozy za rozkład odniesienia przyjmuje się rozkład normalny. Dla tego rozkładu wartość współczynnika

kurtozy wynosi 3. Wówczas, gdy rozproszenie populacji (w rozpatrywanej analizie: analizowanych danych skupionych w obrębie jednego pakietu) jest większe niż w przypadku rozkładu normalnego tj. gdy współczynnik kurtozy jest  $K < 3$ , histogram dla tej populacji jest wyższy i bardziej rozłożysty, [11]. Wówczas zwyczajowo mówi się, że analizowane dane mają rozkład typu płatokurtycznego. W przeciwnym przypadku mówi się, że analizowane dane przyjmują rozkład typu leptokurtycznego.



Rys. 7. Figura po lewej: wykres dla RMS obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 23 stycznia 2012 r., dla nadwozia D/C – przyspieszenie pionowe na nadwoziu wg wskazań położenia czujnika 6; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej RMS w okolicy miejscowości Barłogi  
Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu MATLAB, autor: Melnik R.; Google maps



Rys. 8. Figura po lewej: wykres dla RMS obliczonych z rozróżnieniem na poszczególne pakiety danych – analiza dla dnia 25 stycznia 2012 r., dla wózka E – przyspieszenie pionowe na wózku wg wskazań położenia czujników pomiarowych: czujnik 3, czujnik 4; figura po prawej: miejsce rejestracji pakietu z przekroczeniem wartości progowej RMS w okolicy miejscowości Koło  
[uwaga: wartość większa od progowej znajduje się za legendą]  
Źródło: analizator napisany w oprogramowaniu MATLAB, autor: Melnik R.; Google maps

Przyjmuje się, że dla współczynnika kurtozy o wartości z przedziału od 0 do 6 występuje koncentracja danych wokół wartości średniej populacji.

Podobnie jak w przypadku pozostałych wskaźników diagnostycznych, także wartości *Współczynnika kurtozy* powinny podlegać porównywaniu z odpowiadającymi mu wartościami dopuszczalnymi. Wobec porównywania kolejnych wartości współczynnika kurtozy z wartością dopuszczalną te same należałoby poczynić założenie o identyczności rozkładów danych analizowanych w jednym pakiecie z danymi analizowanymi w pozostałych pakietach. W celu weryfikacji założenia należałoby w pierwszej kolejności przeprowadzić test zgodności Kołmogorova-Smirnova (lub też test Kruskala-Wallisa, który jest rangowym testem statystycznym porównującym rozkłady zmiennych dla większej niż 2 liczby populacji analizowanych danych). Test służy weryfikowaniu hipotezy o identyczności rozkładów badanej cechy dla dwóch populacji (czyli danych w obrębie 2 pakietów). Nie jest to dobre rozwiązanie, bowiem gdyby badanie hipotezy dało wynik negatywny, skutkowałoby to wykluczeniem rozpatrywanego pakietu z dalszych analiz, a w konsekwencji z porównywania wartości diagnostycznych z ich dopuszczalnymi odpowiednikami. Metoda byłaby czasochłonna i nie dawałaby satysfakcjonującego rezultatu.

Z analizy wynika jednak wniosek przeciwny do przyjętego założenia: rozkłady analizowanych danych w obrębie danego pakietu są odmienne od rozkładów danych w przypadku innych pakietów.

*Współczynnik kurtozy* w „czystej” postaci jest w związku z powyższym niemiarodajnym wskaźnikiem diagnostycznym, jest to klasyczna miara koncentracji populacji.

W ramach analizy podjęto próbę powiązania *Wartości średniokwadratowej* z wartościami *Współczynnika kurtozy*. Porównywano dane w przypadkach, gdy wystąpiło przekroczenie wartości dopuszczalnej dla *Wartości średniokwadratowej* z wartością *Współczynnika kurtozy* obliczoną dla tego samego pakietu. Rezultatem jest brak jakiegokolwiek zależności. Można jedynie stwierdzić, że *Współczynnik kurtozy* o wartości maksymalnej wystąpił w przypadku innego pakietu z przejazdu pojazdu szynowego na tej

Tabela 5.

Liczby przekroczeń dopuszczalnych poziomów *Wartości średniokwadratowej* wg czujników pomiarowych o wskazanych położeniach na wózkach i nadwoziach pojazdu szynowego w dniu 25 stycznia 2012 r. (\* E-0; \*\* E-czujnik 6, kierunek pionowy)

Oznaczenie wózka	A	B	C	D	E
Czujnik 1, kierunek poprzeczny*	-	0	0	0	-
Czujnik 2, kierunek poprzeczny*	-	0	0	0	-
Czujnik 3, kierunek pionowy	-	0	0	1	0
Czujnik 4, kierunek pionowy**	-	0	0	0	0
Oznaczenia nadwozia	A	B/A	C/B	D/C	D
Czujnik 5, kierunek pionowy	-	0	0	0	0
Czujnik 6, kierunek poprzeczny*	-	0	0	0	-

samej trasie i tego samego dnia, a *Wartość średniokwadratowa* nie uległa przekroczeniu odpowiadającej jej wartości dopuszczalnej (kolumna 6 w tabeli 6.). Przypadek, gdy wartość maksymalna *Współczynnika kurtozy* występuje wówczas, gdy wartość dopuszczalna *Wartości średniokwadratowej* została przekroczone, został w tabeli 6. „wyróżniony” (■). Pakiet, w przypadku którego doszło do tej sytuacji, został jednak zarejestrowany na innej trasie niż rozpatrywana w artykule (Warszawa-Kraków).

### 3. Wnioski

Dokonana analiza wywarła przekonanie o niemożliwości traktowania każdego ze wskaźników diagnostycznych osobno. Wskaźniki diagnostyczne powinny być traktowane zespołowo. Do opracowania algorytmu postępowania w takim przypadku niezbędne są dodatkowe analizy obejmujące szersze spektrum wyników niż tylko dla wybranej trasy przejazdu pojazdu szynowego. Zanim jednak przygotowany zostanie algorytm prowadzący do zespolonego spojrzenia na wszystkie wskaźniki diagnostyczne, musi zostać dokonana ocena ważkości i ważności poszczególnych wskaźników diagnostycznych. Przy tym jednocześnie musi zostać dokonane określenie dopuszczalnych poziomów innych, w stosunku do podanych w treści artykułu, wskaźników diagnostycznych tj. współczynnika kurtozy, rozstępu międzykwartylowego. Wspomniane prace (w toku realizacji) pozwolą na permanentne i jednoznaczne określenie użytecznych wskaźników diagnostycznych.

Jak wskazano w podrozdziale na temat *Współczynnika kurtozy* jednoczesna analiza wartości średniokwadratowej i współczynnika kurtozy nie daje satysfakcjonujących wyników. Przekroczenia dopuszczalnych wartości średniokwadratowych występują sporadycznie i najczęściej podejrzenie ich wystąpienia ma związek z przejazdem pojazdu szynowego przez rozjazd kolejowy czy przejazd kolejowy. Zatem ów wskaźnik diagnostyczny jako taki nie może podlegać ocenie w sposób niezależny od innych wskaźników diagnostycznych. Warto rozważyć zespolone spojrzenie na pary wskaźników: *Amplituda* i *Współczynnik kurtozy* czy też *Rozstęp międzykwartylowy* i *Współczynnik kurtozy* przy jednoczesnym

braniu pod uwagę częstości przekroczenia ich wartości dopuszczalnych w przypadku sąsiadujących ze sobą pakietów czyli ich występowanie w ujęciu drogi lub upływającego czasu przejazdu pojazdu szynowego.

W celu jednoznacznego określenia miejsc występowania przekroczeń na mapie należałoby powiązać otrzymywane współrzędne geograficzne (współrzędne generowane w miejscu, z którego następuje przesłanie pakietów zebranych przez *CJAD*) i odległość podaną w pakiecie z kilometrażem kolejowym. W bazie danych musiałaby istnieć tabela danych zawierająca informacje nt. numeru linii kolejowej, słupków kilometrażu na niej występujących wraz z przyporządkowaniem ich współrzędnych geograficznych. Wówczas można by dla zarejestrowanego w pakiecie przekroczenia, wyznaczyć obszar czy miejsce wystąpienia przekroczenia na torze z dokładnością do odległości między słupkami kilometrażu.

W analizie zasadniczo pominięto wózek *E* przy porównywaniu go z innymi wózkami ze względu na brak przyporządkowania czujników wszystkim lokalizacjom przewidzianym w projekcie. Była to sprawa umowna w trakcie eksploatacji nadzorowanej pojazdu szynowego, na którym zainstalowano system. Sytuacja w bieżącej eksploatacji systemu byłaby oczywiście odmienna – montowano by czujniki konsekwentnie, w tych samych miejscach.

Kwestię sporną stanowi nierównomierny przesył pakietów. Trwają prace nad wyjaśnieniem problemu.

### Literatura

- [1.] Buda A., Jarynowski A., *Life-time of correlations and its applications vol.1*, Wydawnictwo Niezależne: 5–21, 2010
- [2.] Cohen J., *Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd ed.)*, Lawrence Erlbaum Associates, Inc., New Jersey, USA, 1988
- [3.] SMPK – *Konfiguracja system testowego na pojeździe ED74, MONIT – Testowanie systemu w warunkach eksploatacyjnych*, EC Systems, Kraków, listopad 2011 r.
- [4.] EN 14363: 2005. *Railway applications - Testing for the acceptance of running characteristics of railway vehicles - Testing of running behaviour and stationary tests*
- [5.] PN-EN 14363. *Badania własności dynamicznych pojazdów szynowych przed dopuszczeniem pojazdu do ruchu. Badania własności biegowych i próby stacjonarne*

Wartość średniokwadratowa a współczynnik kurtozy – porównanie wskaźników diagnostycznych Tabela 6.

Identyfikator pakietu	Kanał (wózek)	Wartość średniokwadratowa (RMS <sub>don</sub> )	Współczynnik kurtozy	Typ rozkładu	Uwagi
<i>Rozpatrywana trasa: Warszawa-Poznań</i>					
20120123_194328	7VIB (E)	8,31 (7)	4,20	Leptokurtyczny	K(18:04:14) = 20,68; RMS = 1,71
20120123_194328	8VIB (E)	7,46 (7)	5,77	Leptokurtyczny	K(20:37:20) = 37,07; RMS = 3,23
20120123_202229	0VIB (C)	8,47 (7)	3,71	Leptokurtyczny	K(18:25:32) = 58,34; RMS = 3,89
20120123_202229	2VIB (C)	10,66 (7)	3,47	Leptokurtyczny	K(18:25:32) = 61,22; RMS = 3,90
20120123_193050	9VIB (D/C)	0,51 (0,5)	5,40	Leptokurtyczny	K(18:04:14) = 14,23; RMS = 0,09
20120123_202229	0VIB (D)	9,13 (7)	4,29	Leptokurtyczny	K(19:01:29) = 73,36; RMS = 3,86
20120125_193632	0VIB (D)	7,15 (7)	82,45	Leptokurtyczny	K(19:50:37) = 96,94; RMS = 3,34
<i>Rozpatrywana trasa: Warszawa-Kraków</i>					
20120131_064934	9VIB (A/A)	0,8 (0,5)	33,99	Leptokurtyczny	

- [6] UIC 518: 2009, 4th edition, *Testing and approval of railway vehicles from the point of view of their dynamic behaviour — Safety — Track fatigue; Ride quality*
- [7] *Analiza drgań elementów i zespołów pojazdów szynowych w oparciu o wyniki badań eksperymentalnych, EZT – przyspieszenia, Monit, IK (dawniej CNTK), Warszawa, 2009*
- [8] Chudzikiewicz A., Sowiński B., Drożdźiel J.: *Zadanie 6. Testowanie prototypu systemu w warunkach eksploatacyjnych, Temat 6.2 Opracowanie planu i procedury badań eksploatacyjnych prototypu systemu monitorowania pojazd szynowy – tor, raport MONIT, 2012*
- [9] *Prospekt reklamowy: [http://pesa.pl/pl/Oferta/Elektryczne\\_zespoły\\_trakcyjne/ED74\\_Bydgosia](http://pesa.pl/pl/Oferta/Elektryczne_zespoły_trakcyjne/ED74_Bydgosia)*
- [10] Chudzikiewicz A., Sowiński B., Drożdźiel J., Opala M., Kostrzewski M., Michalski K., Melnik R.: *Zadanie 6. Testowanie prototypu systemu w warunkach eksploatacyjnych, Temat 6.4 Analiza wyników testów eksploatacyjnych, raport MONIT, 2012*
- [11] Moszczyński L., *Interpretacja współczynnika kurtozy w analizie danych, Przegląd Elektrotechniczny, R. 79, nr 9(1), s.558--560, Wydawnictwo SIGMA-NOT, 2003*