

## BADANIA WSTĘPNE MOŻLIWOŚCI OCENY STANU POWIERZCHNI TOCZNEJ SZYN ZA POMOCĄ ZJAWISK WIBROAKUSTYCZNYCH<sup>1</sup>

Roksana LICOW<sup>\*</sup>, Franciszek TOMASZEWSKI<sup>\*\*</sup>  
Michał URBANIAK<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

<sup>\*\*</sup> Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu

W artykule przedstawiono wstępną koncepcję możliwości wykorzystania zjawisk wibroakustycznych w celu oceny stanu powierzchni tocznych szyn. Scharakteryzowano metodykę, zakres badań oraz wybór punktów lokalizacyjnych. Badania wstępne obejmowały pomiary drgań i hałasu na referencyjnym odcinku toru oraz na odcinku toru z wadą squat. Pomiary przeprowadzono na dwóch liniach kolejowych nr 213 Reda – Hel oraz 131 Chorzów Batory – Tczew. W artykule zawarto wyniki z przeprowadzonych pomiarów oraz wstępne wnioski potwierdzające zasadność prowadzenia dalszych badań zjawisk wibroakustycznych.

Słowa kluczowe: wibroakustyka, diagnostyka powierzchni tocznych szyn, wada squat.

### 1. WSTĘP

Poprawna diagnostyka powierzchni tocznych szyn na czynnych liniach kolejowych jest elementem składowym czynników wpływających na zwiększanie poziomu bezpieczeństwa przewozów transportem kolejowym. Znaczenie jej może określić fakt, że w Europie do pierwszej połowy lat 90 – tych ubiegłego wieku wad powierzchniowych nie zaliczano do wad najczęściej występujących. Od 2012 roku stały się one jednak powodem prawie 340 złamań szyn kolejowych w Polsce natomiast w 2013 roku liczba ta zwiększyła się do 488 złamań [4]. Ważna zatem jest znajomość etapów rozwoju wad oraz skuteczne zapobieganie krytycznym przypadkom jakimi są wykolejenia pociągów z ich powodu.

W artykule przedstawiono koncepcję możliwości wykorzystania sygnałów wibroakustycznych w celu określania stanu powierzchni tocznych szyn. Diagnostyka wibroakustyczna obiektów wykorzystuje emitowane sygnały drgań i hałasu, które zawierają obiektywną informację o stanie technicznym badanego obiektu. Nieniszczące badania diagnostyczne za pomocą zjawisk wibroakustycznych, znajdują zastosowanie w każdej fazie istnienia maszyn i urządzeń, od fazy konstruowania, wytwarzania po fazę eksploatacji [1].

---

<sup>1</sup> DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.19

Do analizy zjawisk wibroakustycznych wykorzystano powierzchnię toczną z wadą squat (wada 227 wg Katalogu Wad w Szynach Kolejowych PLK) inaczej pęknięcie i miejscowe zagłębienie powierzchni tocznej (rys. 1) [3].



Rys. 1. Wada squat na linii kolejowej nr 213 Reda – Hel (KM 38.750 LT)

Wada squat występuje poza końcami szyn na powierzchni tocznej główki szyny, na prostych odcinkach toru oraz na wzniesieniach o pochyleniu do 4,0%. W pierwszych fazach rozwoju, wada objawia się jako ciemny punkt często jeszcze niezawierający pęknięć o półkolistym kształcie, natomiast w kolejnych etapach następuje łuszczenie i pękanie materiału. Brak obserwacji i stosowania środków zaradczych może doprowadzić do całkowitego pęknięcia szyny. Przyczyny powstawania wad typu squat nie są jeszcze do końca poznane. Wykazano, że pęknięcia wzdłużne powiązane są z występowaniem białej warstwy bezpostaciowego martenzytu na powierzchni tocznej szyn. Badania te wykazały, że w większości, zaobserwowano zahamowanie rozwoju mikropęknięć wad typu squat przekraczających strefę białej warstwy martenzytu do materiału rodzimego główki szyny [6].

Na sieci Polskich Linii Kolejowych, diagnostyka wad typu squat polega na ocenie wizualnej oraz ocenie powierzchni tocznej za pomocą badań ultradźwiękowych. Wykorzystanie zjawisk wibroakustycznych mogłoby pozwolić na szybszą oraz bardziej skuteczną ocenę powierzchni tocznych jak również ocenę poszczególnych elementów nawierzchni. Wykorzystując zjawiska wibroakustyczne będące odpowiedzią dynamiczną szyn podczas przejeżdżającego pociągu, można ocenić stan ich powierzchni tocznej, złączy, przytwierdzeń, podkładów jak również podsypek [2]. W badaniach wstępnych skupiono uwagę na ocenie powierzchni tocznej z odcinkiem toru z wadą squat.

## 2. METODYKA BADAŃ

### 2.1. Zakres badań i lokalizacja miejsc pomiarowych

Badania prowadzono na dwóch liniach kolejowych zarządzanych przez PKP PLK S.A. na terenie Zakładu Gdynia. Linia kolejowa numer 213 jest pierwszą z analizowanych linii. Przebiega ona w województwie pomorskim i łączy stacje Redę i Hel. Jest linią znaczenia regionalnego, niezelektryfikowaną, której rewitalizacja trwa od 2007 roku. Długość linii kolejowej nr 213 wynosi 62,827 km.

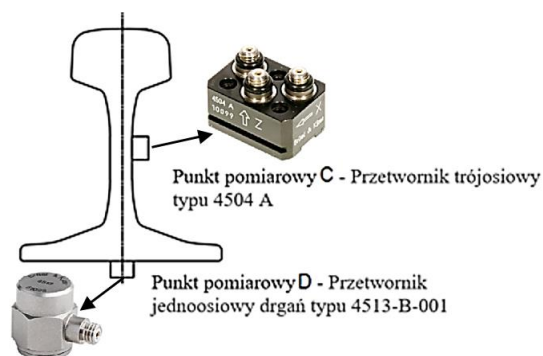
Drugą, przyjętą do badań, jest linia kolejowa nr 131 – najbardziej obciążona linia ruchem towarowym w Polsce. Roczne przeniesione obciążenie wynosi ok. 30 Tg. Dawniej zwana magistralą węglową, obecnie łączy stacje Chorzów Batory – Tczew. Długość linii kolejowej nr 131 wynosi 493,391 km.

Badania przeprowadzono w czterech punktach pomiarowych na dwóch, wymienionych, liniach kolejowych. W każdym punkcie przeprowadzono jedenaście pomiarów dla różnych typów pociągów wliczając pomiar poziomu drgań i hałasu bez przejazdu pojazdu szynowego – pomiar tła. Zakres badań z lokalizacją, kilometrażem oraz rodzajem przejeżdżających pociągów przedstawiono w tabeli 1.

Badania przeprowadzono na linii nr 213 Reda – Hel w dwóch punktach pomiarowych: odcinek toru referencyjnego i odcinek toru z wadą squat oraz na linii nr 131 Chorzów Batory – Tczew również w dwóch punktach pomiarowych: odcinek toru referencyjnego i odcinek toru z wadą squat. Do badań przyjęto założenie, iż wszystkie koła taboru zużyte są w sposób jednorodny.

### 2.2. Metodyka pomiarów drgań

Do pomiaru drgań wykorzystano dwa przetworniki: trójosiowy przetwornik drgań typu 4504A oraz przetwornik jednoosiowy drgań typu 4513-B-001. Przetwornik trójosiowy został zamontowany na szyjce szyny natomiast przetwornik jednoosiowy zamontowano pod stopką szyny (rys. 2).



Rys. 2. Metodyka rozmieszczenia punktów pomiaru drgań na podstawie [<http://www.bruel.com.pl/>]

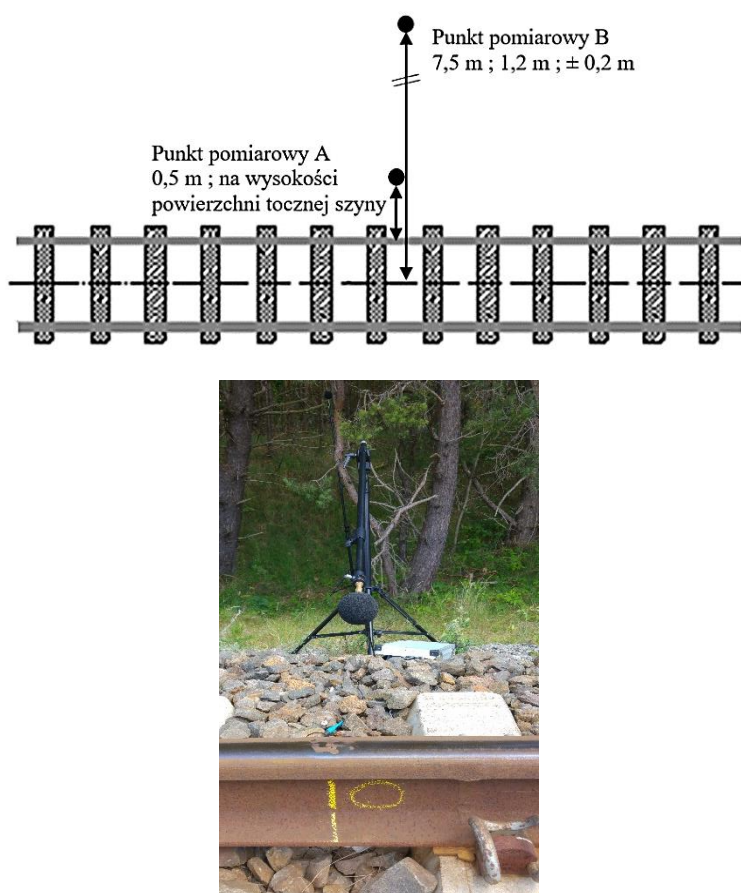
Tab. 1. Zakres przeprowadzonych badań

<b>Opis</b>	Odcinek toru referencyjnego (odcinek porównawczy) na linii 213 Reda – Hel, KM 30.900, lewy tok, temp. 17°C, wiatr 14 km/h. Szyny S49, przytwierdzenia SB-3, podkład strunobetonowy PS - 93										
<b>Nr badania</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Przejeżdżający pociąg</b>	TŁO	SU 42-1010	SU42-349	SA13 7	SA13 3	SA13 2	SU42	SA13 8	SU42	754-025-5	SA 133
<b>Liczba wagonów</b>		5	5			1	3	1	4	7	1
<b>Liczba EZT<sup>2</sup></b>				2	1	2		1			1
<b>Opis badania</b>	Odcinek toru z wadą squat na linii 213 Reda – Hel, KM 38.760, lewy tok, temp. 16°C, wiatr 17 km/h. Szyny S49, przytwierdzenia SB-3, podkład strunobetonowy PS - 93										
<b>Nr badania</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Przejeżdżający pociąg</b>	TŁO	SU42	SA13 8	SA13 7	SA13 3	SA13 2	SU42	SU42	754-025-5	SA 133	
<b>Liczba wagonów</b>		7				1	3	6	7	1	
<b>Liczba EZT</b>			1	2	1	2				1	
<b>Opis badania</b>	Odcinek toru referencyjnego (odcinek porównawczy) na linii 131 Chorzów Batory - Tczew, KM 458.900, prawy tok, tor 1, temp. 17°C, wiatr 16 km/h. Szyny 60E1 rok produkcji 2010, przytwierdzenia SB-3, podkład strunobetonowy PS – 93										
<b>Nr badania</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Przejeżdżający pociąg</b>	TŁO	EUA0 7	ET22	ET22	LOT OS	ED16 0	ET22-1055	EP07	EP07 SM42	EM57 AL	LOT OS E6AC T-009
<b>Liczba wagonów</b>		7	51	38	36		38	11			49
<b>Liczba EZT</b>						7				3	
<b>Opis badania</b>	Odcinek toru z wadą squat na linii 131 Chorzów Batory - Tczew, KM 466.150, lewy tok, tor 2, temp. 21°C, wiatr 13 km/h. Szyny 60E1 rok produkcji 2010, przytwierdzenia SB-3, podkład strunobetonowy PS – 93										
<b>Nr badania</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>
<b>Przejeżdżający pociąg</b>	TŁO	ED16 0	EP07-482	EN57	ET22-1078	LOT OS-ELA	EP07	LOT OS E6AC T-008	EU07	ED16 0	EM76
<b>Liczba wagonów</b>			9		34	40	7	46	9		
<b>Liczba EZT</b>		6		3						7	3

<sup>2</sup> EZT- Elektryczny Zespół Trakcyjny

### 2.3. Metodyka pomiarów hałasu

Pomiary poziomów hałasu prowadzono w warunkach określonych w instrukcji obsługi przyrządów oraz wartościach granicznych zgodnych z [7] tj. temperatura od  $-10^{\circ}\text{C}$  do  $50^{\circ}\text{C}$ , wilgotność względna od 25% do 98%, prędkość wiatru w zakresie  $0\text{--}5\text{ m/s}$ , ciśnienie atmosferyczne od 900 hPa do 1100 hPa, oraz brak opadów atmosferycznych. Mikrofony typ 2671 ustawiono w dwóch punktach pomiarowych (rys. 3).



Rys. 3. Metodyka rozmieszczenia punktów pomiaru hałasu

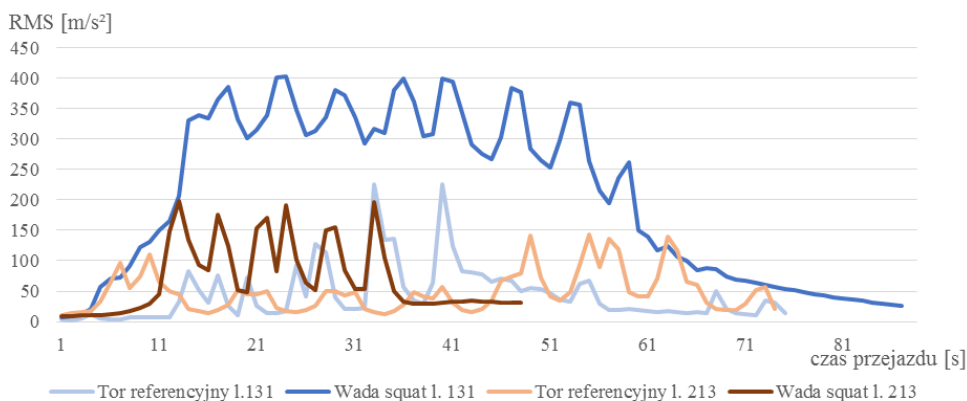
Pierwszy mikrofon znajdował się w odległości 0,5 m od osi zewnętrznego toku na wysokości powierzchni tocznej szyny. Drugi punkt pomiaru hałasu został umiejscowiony zgodnie z [5] w odległości 7,5 m od osi toru na wysokości 1,2 m.

### 3. ANALIZA WYNIKÓW POMIARÓW

#### 3.1. Analiza wyników pomiarów drgań

Na rysunkach 4 – 7 przedstawiono zestawienie wyników pomiarów dla toru referencyjnego oraz dla toru z wadą squat na linii kolejowej nr 213 oraz linii 131. Krzywe, przedstawiają przebiegi czasowe z jedenastu prób pomiarowych dla każdego przebiegu.

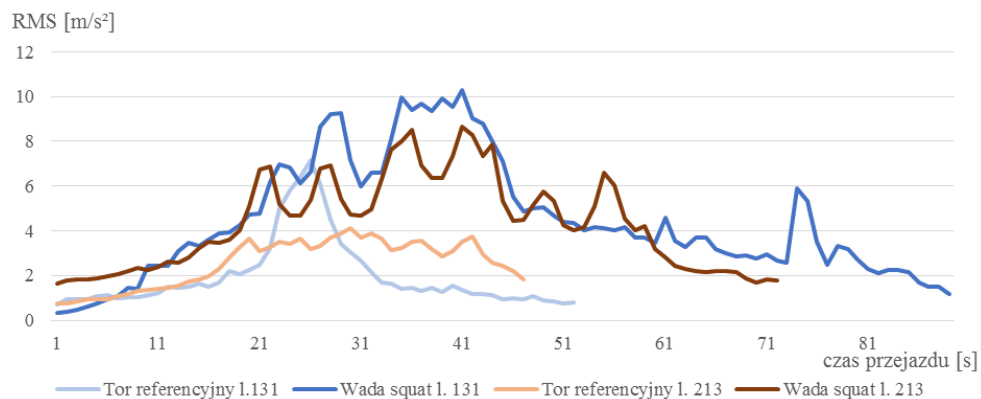
Rysunek 4 przedstawia porównanie wartości skutecznych przyspieszeń drgań dla odcinka toru referencyjnego z odcinkiem toru posiadającym wadę squat na linii nr 213 oraz 131. Wyniki zostały zarejestrowane przez czujnik jednoosiowy typu 4513-B-001 umiejscowiony pod stopką szyny.



Rys. 4. Wyniki pomiarów z czujnika jednoosiowego umiejscowionego pod stopką szyny dla odcinków torów referencyjnych oraz powierzchni z wadą squat

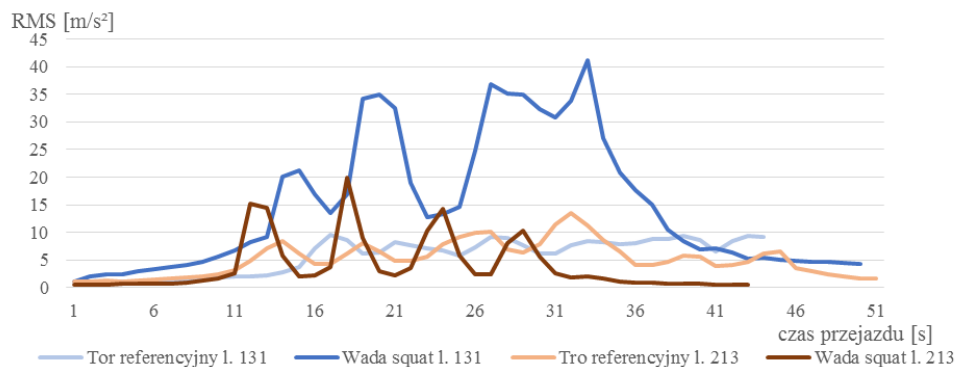
Rezultaty badań z czujnika jednoosiowego drgań przedstawiły zależność czterokrotnego wzrostu wartości drgań w momencie przejazdu pociągu po wadzie squat niż w przypadku przejazdu torem referencyjnym dla obu linii kolejowych. Wadą umiejscowienia czujnika było częste odbieranie sygnałów przekraczających zakres pomiarowy co świadczy o dużej wartości impulsu rejestrowanego przez czujnik.

Rysunek 5 przedstawia średnie wartości przyspieszeń drgań szyny z jedenastu przejazdów dla każdej z grup pomiarowych w kierunku wzdłużnym X, zgodnym z ruchem pojazdów szynowych. Dla linii 131 wartości przyspieszeń przy przejeździe po wadzie squat były pięciokrotnie większe w porównaniu do rejestrowanych sygnałów na odcinku toru referencyjnego. Dla linii 213, zarejestrowano dwukrotne zwiększenie wartości niż w przypadku odcinka toru referencyjnego.



Rys. 5. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego umiejscowionego na szyjsce szyny kierunek X dla odcinków torów referencyjnych oraz powierzchni z wadą squat

Na rysunku 6 przedstawiono średnie wartości z jedenastu przejazdów dla każdej z grup pomiarowych w kierunku poprzecznym Y do ruchu pojazdów szynowych. Na linii 213, zarejestrowano przybliżone wartości przyspieszeń przy przejeździe po odcinku z wadą jak i po odcinku toru bez wady/referencyjnym. Dla linii 131 wartości przyspieszeń przy przejeździe po wadzie squat były czterokrotnie większe w porównaniu do toru referencyjnego.



Rys. 6. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego umiejscowionego na szyjsce szyny kierunek Y dla odcinków torów referencyjnych oraz powierzchni z wadą squat

Na rysunku 7 przedstawiono średnie wartości przyspieszeń z jedenastu przejazdów dla każdej z grup pomiarowych w kierunku prostopadły do ruchu pojazdów szynowych. Na linii 213, zarejestrowano przybliżone wartości przyspieszeń przy przejeździe taboru po odcinku toru z wadą jak i po torze referencyjnym. Dla linii 131 wartości przyspieszeń przy przejeździe taboru po

odcinku toru z wadą squat były trzykrotnie większe w porównaniu do rejestrowanych przy przejeździe po odcinku referencyjnym.



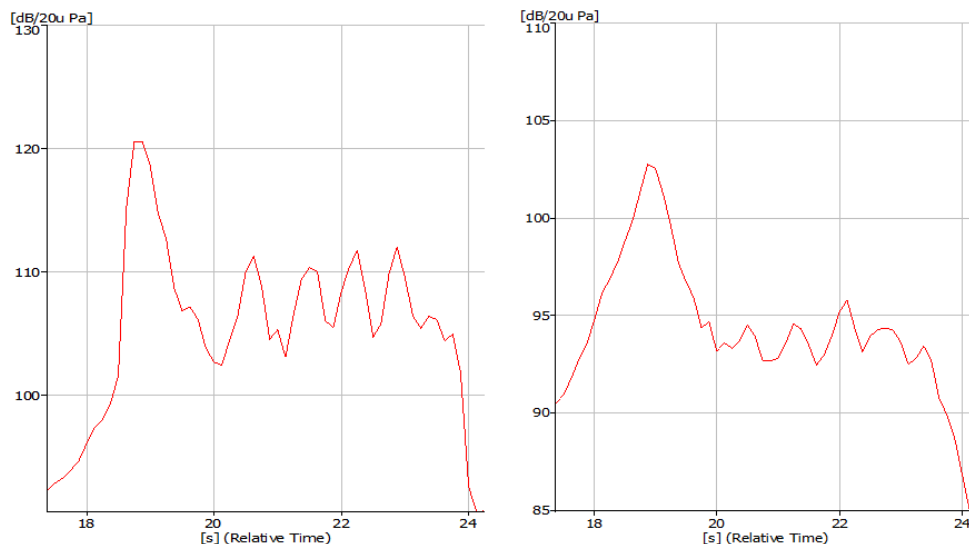
Rys. 7. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego umiejscowionego na szyjście szyny kierunku Z dla odcinków torów referencyjnych oraz powierzchni z wadą squat

Wyniki pomiarów pozwoliły ocenić zasadność stosowania wybranych przetworników drgań w określonych punktach szyny.

### 3.2. Analiza wyników pomiarów hałasu

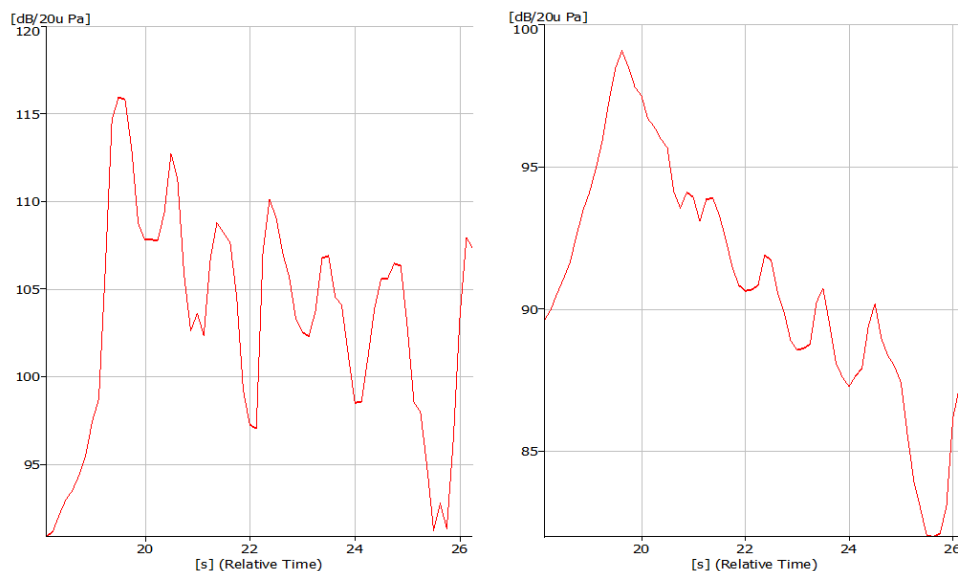
Wyniki pomiarów hałasu przedstawiono dla tych samych typów pojazdów – lokomotywy 754-025-5 EIC „Jantar” z siedmioma wagonami. Rysunek 8 zawiera wyniki pomiaru hałasu w dwóch punktach pomiarowych oddalonych 0,5 m i 7,5 m od toru dla odcinka toru z wadą squat na linii nr 213 Reda – Hel dla pomiaru nr 9. Podczas przejazdu średnie wartości poziomu hałasu wynosiły 110 dB dla mikrofonu umiejscowionego 0,5 m od osi szyny oraz 95 dB dla mikrofonu umiejscowionego 7,5 m od osi toru. Największa wartość wyniosła 120 dB dla mikrofonu umiejscowionego bezpośrednio przy torze, jednak w dalszych analizach została ona pominięta. Duże poziomy hałasu pojawiające się w pierwszych sekundach przejazdu są wynikiem hałasu aerodynamicznego lub użycia sygnału dźwiękowego przez maszynistę.





Rys. 8. Wyniki pomiarów hałasu dla punktu w odległości 0,5 m (po lewej) i 7,5 m (po prawej) – odcinek toru z wadą squat linii 213 Reda – Hel

Na rysunku 9 przedstawiono wyniki pomiaru hałasu w dwóch punktach pomiarowych oddalonych 0,5 m i 7,5 m od odcinka toru dla toru referencyjnego linii nr 213 Reda – Hel dla punktu pomiarowego nr 10.



Rys. 9. Wyniki pomiarów hałasu dla punktu w odległości 0,5 m (po lewej) i 7,5 m (po prawej) – odcinek toru referencyjny linii 213 Reda – Hel

Podczas przejazdu taboru po referencyjnym odcinku toru średnie wartości poziomu hałasu wynosiły 110 dB dla mikrofonu oddalonego 0,5 m od osi szyny oraz 90 dB dla mikrofonu umiejscowionego 7,5 m od osi toru. Pomiar tła wykazał średnie wartości dla odcinka toru z wadą squat o wartości 75 dB natomiast dla referencyjnego odcinka toru 67 dB.

#### 4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone badania wstępne wykazały zasadność prowadzenia dalszych badań stacjonarnych z wykorzystaniem zjawisk wibroakustycznych do oceny powierzchni tocznych szyn.

Podczas prowadzenia pomiarów czujnik jednoosiowy drgań typu 4513-B-001 narażony był na oddziaływania poza zakresem pomiarowym co zostało uwzględnione w opracowanych wynikach jednak w celu kontynuacji pomiarów zaleca się zastosowanie czujnika o większej dynamice.

Wyniki pomiarów drgań z jednego punktu pomiarowego miały zbliżone przebiegi dla poszczególnych kierunków drgań, niezależnie od prędkości i składu pociągu. Świadczy to o właściwym doborze miejsc pomiarowych na elementach szyny jak również zastosowanej aparaturze pomiarowej na szycie szyny. W dalszych badaniach autorzy zamierzają rozszerzyć stanowisko pomiarowe o czujnik sejsmiczny w celu dodatkowej obserwacji drgań gruntu pod torowiskiem (górnym poziomem podtorza).

Pomiary hałasu mogą być również wykorzystane do oceny wad szyn, jednak wpływ na uzyskiwane wyniki innych źródeł hałasu wymaga dodatkowych badań oraz analiz sygnału.

#### LITERATURA

- [1] Engel Zbigniew Witold, Wkład profesora Czesława Cempla w rozwój wibroakustyki. *Diagnostyka* 3(47)/2008.
- [2] Kaewunruen S., Aikawa A., Remennikov A., Vibration attenuation at rail joints through under sleeper pads, *Procedia Engineering* 189 ( 2017 ) 193 – 198.
- [3] Katalog wad w szynach. PKP Polskie Linie Kolejowe S.A., Warszawa 2005.
- [4] Li, Z.: Squats on railway rails. In R Lewis & U Olofsson (Eds.), *Wheel-rail interface handbook* (pp. 409-436). Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009.
- [5] Norma PN EN ISO 3095: 2013 – 12 – Akustyka – Kolejnictwo – Pomiar hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe.
- [6] Pacyna J., Krawczyk J.: Mechanizm powstawania uszkodzeń typu „squat” w szynach kolejowych. XIX Konferencja Naukowo – Techniczna Huty Katowice S.A., listopad 1999, Rogóżnik, s. 126-147.
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2011 r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów poziomów substancji lub energii w środowisku przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem lub portem. Dz.U. 2011 nr 140 poz. 824.

**PRELIMINARY STUDY INTO THE POSSIBILITY OF ASSESSMENT  
THE ROLLING SURFACE CONDITIONS OF THE RAIL  
USING VIBROACOUSTIC PHENOMENA**

**Summary**

The article presents an initial concept of using vibroacoustic phenomena in order to assess the rolling surfaces condition of rails. In this paper the methodology and the scope of the research are described. The preliminary studies included vibration and noise measurements on a reference track and track with a squat defect. Measurements were carried out on two railway lines No. 213 Reda - Hel and No. 131 Chorzów Batory - Tczew. The results of the measurements and preliminary conclusions are presented that confirm the effectiveness of conducting further research on vibroacoustic phenomena.

Keywords: vibroacoustic phenomena, rolling surfaces condition of rails, squat defect.

Dane autorów:

Mgr inż. Roksana Licow

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Katedra Transportu Szynowego i Mostów

e-mail: roklicow@pg.gda.pl

telefon: +48 58 347 1419

Prof. dr hab. inż. Franciszek TOMASZEWSKI

Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu,

Instytut Silników Spalinowych i Transportu, Zakład Pojazdów Szynowych

e-mail: Franciszek.tomaszewski@put.poznan.pl

telefon: +48 61 665 2570

Mgr inż. Michał Urbaniak

Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

Katedra Transportu Szynowego i Mostów

e-mail: micurban@pg.gda.pl

telefon: +48 58 347 6089