

Analiza możliwości identyfikacji wad powierzchni tocznej szyn za pomocą sygnału drganiowego

Roksana LICOW¹, Franciszek TOMASZEWSKI²

Streszczenie

W artykule przedstawiono metodę identyfikacji wybranych wad powierzchni tocznej szyn takich, jak: *squat*, wada powierzchni tocznej i wybuksowanie, za pomocą parametrów sygnałów drganiowych. Opisano metodykę prowadzonych badań, zakres badań oraz wybór punktów pomiarowych z różnymi rodzajami wad. Przedstawiono wybrane wyniki badań drgań, wyniki analiz zarejestrowanych sygnałów dla odcinków toru z wadą oraz dla referencyjnych odcinków toru na linii kolejowej nr 213 Reda – Hel oraz linii nr 131 Chorzów Batory – Tczew. Przedstawione w artykule wyniki badań oraz wnioski potwierdzają zasadność prowadzenia dalszych badań nad wykorzystaniem zjawisk wibroakustycznych do diagnostyki szyn.

Słowa kluczowe: wibroakustyka, *squat*, wybuksowanie, wada powierzchni tocznej

1. Wstęp

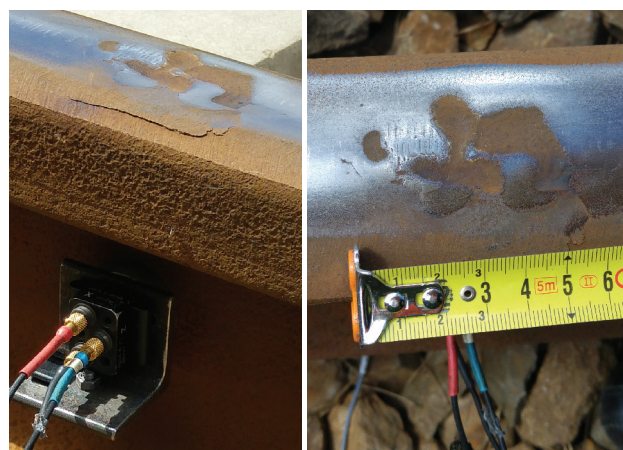
Artykuł dotyczy badań, będących kontynuacją wcześniej opisanych w [6], prac nad możliwością wykorzystania sygnałów wibroakustycznych, w celu określania stanu powierzchni tocznej szyn, wraz z analizą możliwości identyfikacji występującej wady. Badania przeprowadzono na dwóch liniach kolejowych: nr 213 Reda – Hel oraz na linii nr 131 Chorzów Batory – Tczew w ośmiu punktach pomiarowych, poddając analizie trzy najczęściej występujące uszkodzenia powierzchni tocznej szyn.

Analizę sygnałów drganiowych przeprowadzono na następujących uszkodzeniach powierzchni tocznej: *squat* (wada nr 227), wybuksowanie (wady nr 2251, 2252) oraz wada nr 221 – wada powierzchni tocznej.

Pierwszą z analizowanych wad była wada nr 227 (*squat*) według „Katalogu wad w szynach” [3], definiowana jako pęknięcie i miejscowe zagłębienie powierzchni tocznej, występujące poza końcami szyn na powierzchni tocznej główki szyny, na prostych odcinkach toru oraz na wzniesieniach o pochyleniu do 4,0‰ (rys. 1).

W pierwszych fazach rozwoju *squat* objawia się jako ciemny punkt, często jeszcze bez pęknięć o półkolistym kształcie, w kolejnych fazach następuje łuszczenie i pęknięcie materiału. Brak odpowiedniej diagnostyki szyn oraz brak obserwacji i stosowania środ-

ków zaradczych może doprowadzić do całkowitego pęknięcia szyny oraz wykolejenia pociągu. Przyczyny powstawania tego typu wad nie są do końca poznane, stąd ważne jest prowadzenie prawidłowej diagnostyki, polegającej między innymi na prawidłowej ocenie wizualnej wady oraz obserwacji szyn za pomocą badań ultradźwiękowych [4, 7].



Rys. 1. Wada *squat* na linii kolejowej nr 213 Reda – Hel [fot. autorów]

Kolejną z badanych wad jest wada nr 2251 wybuksowanie pojedyncze i nr 2252 wybuksowanie wielokrotne według [3] (rys. 2). Wybuksowanie jest

¹ Dr inż.: Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska; e-mail: roksana.licow@pg.edu.pl.

² Prof. dr hab. inż.: Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Instytut Transportu; Franciszek.tomaszewski@put.poznan.pl.

uszkodzeniem całkowicie wynikającym z eksploatacji szyn, zauważalnym na odcinkach toru, na którym występuje gwałtowne hamowanie lub rozruch ciężkich pociągów towarowych. Wybuxsowanie pojawia się najczęściej przed semaforami wjazdowymi, przejazdami kolejowo-drogowymi oraz przed rozjazdami. Wybuxsowanie występuje symetrycznie na obu tokach szynowych i jest wykrywane za pomocą badań wizualnych. Zalecenia to: obserwacja, szlifowanie, wymiana lub natychmiastowa wymiana szyny [3, 8].



Rys. 2. Wada wybuxsowanie na linii kolejowej nr 213 Reda – Hel [fot. autorów]

Ostatnią wadą poddaną analizie jest wada nr 221 powierzchni tocznej szyny według [3] (rys. 3). Wada nr 221 powstaje wyłącznie na główce szyny w trakcie eksploatacji toru kolejowego i jest uszkodzeniem pochodzenia hutniczego. Najczęściej objawia się łuszczeniem blaszkowatym powierzchni tocznej, rysami lub pęknięciami w kształcie rowka.



Rys. 3. Wada 221 – uszkodzenie powierzchni tocznej na linii kolejowej nr 213 Reda – Hel [fot. autorów]

Uszkodzenia 221 są najczęściej wykrywane za pomocą badań wizualnych, a w zależności od stopnia rozwoju wady zaleca się obserwację szyny, szlifowanie lub jej napawanie [3].

Identyfikacja wady z określeniem stopnia degradacji oraz dalszych zaleceń bardzo często zależy od doświadczenia diagnosty oraz warunków, w których są

przewodzone badania diagnostyczne szyn. Wykorzystanie sygnałów drganiowych mogłoby umożliwić szybszą oraz bardziej skuteczną i jednoznaczną ocenę powierzchni tocznych, jak również ocenę poszczególnych elementów nawierzchni. Wykorzystując zjawiska wibroakustyczne, będące odpowiedzią dynamiczną szyn podczas przejazdu pociągu, można ocenić stan powierzchni tocznej, stan złączy, przytwierdzeń, podkładów i podsypki [1, 2].

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 Linii Kolejowych w Gdyni. Linia kolejowa nr 213 Reda – Hel jest pierwszą z analizowanych linii. Położona w województwie pomorskim, łączy stacje i jest linią znaczenia regionalnego, niezelektryfikowaną, której rewitalizacja trwała w latach 2011–2015. Długość linii kolejowej nr 213 wynosi 62,827 km.

Drugą, przyjętą do badań, jest linia kolejowa nr 131 Chorzów Batory – Tczew – linia najbardziej obciążona ruchem towarowym w Polsce, dawniej zwana magistralą węglową. Linia nr 131 łączy stacje Chorzów Batory i Tczew. Długość linii kolejowej nr 131 wynosi 493,391 km a roczne obciążenie wynosi około 30 Tg.

Badania przeprowadzono w ośmiu punktach pomiarowych na dwóch, wymienionych liniach kolejowych. W każdym punkcie przeprowadzono co najmniej dziesięć pomiarów drgań dla różnych typów pociągów. Zakres badań z lokalizacją, kilometrażem oraz z rodzajem nawierzchni przedstawiono w tablicy 1.

Na linii nr 213 Reda – Hel i na linii nr 131 Chorzów Batory – Tczew badania drgań przeprowadzono w czterech punktach pomiarowych obejmujących: odcinek toru referencyjnego oraz odcinki toru z wadami *squat*, wybuxsowanie oraz wadą powierzchni tocznej [5].

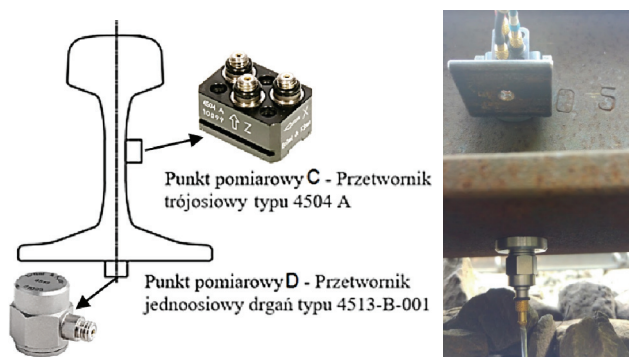
2.2. Metodyka pomiarów drgań

Do pomiaru drgań wykorzystano dwa przetworniki: trójosiowy przetwornik drgań typu 4504A B&K oraz przetwornik jednoosiowy drgań typu 4513-B-001 B&K [9]. Przetwornik trójosiowy został zamontowany na szyjce szyny, natomiast przetwornik jednoosiowy zamontowano pod stopką szyny (rys. 4). Przetworniki umiejscowiono bezpośrednio w osi badanej wady. Przetwornik trójosiowy rejestrował sygnały w trzech kierunkach: X – zgodnie z ruchem pociągów, Y – poprzeczne do kierunku ruchu pociągów, Z – prostopadle do kierunku ruchu pociągów.

Tablica 1

Punkty pomiarów drgań na liniach kolejowych nr 213 oraz 131 [6]

Nazwa punktu pomiarowego	Data badania	Liczba pomiarów	Badana wada / uszkodzenie	Nawierzchnia
213 – Referencyjny KM 30.900 LT	24.06.2017	10	odcinek toru referencyjnego	szyny typu S49, przytwierdzenia SB-3, podkłady PS-93
213 – 227 <i>Squat</i> KM 38.760 LT	26.06.2017	10	<i>squat</i>	
213 – 2252 Wybuksowanie KM 11.500 LT	27.06.2017	10	wybuksowanie	
213 – 221 Wada powierzchni tocznej KM 16.100 PT	1.07.2017	10	wada powierzchni tocznej	
Nazwa punktu pomiarowego	Data badania	Liczba pomiarów	Badana wada / uszkodzenie	Nawierzchnia
131 – Referencyjny KM 458.900 PT	9.07.2017	14	odcinek toru referencyjnego	szyny typu 60E1 (2010 r.), przytwierdzenia SB-3, podkłady PS-93
131 – 227 <i>Squat</i> KM 466.150 LT	10.07.2017	11	<i>squat</i>	
131 – 2252 Wybuksowanie KM 458.750 PT	11.07.2017	12	wybuksowanie	
131 – 221 Wada powierzchni tocznej KM 458.880 PT	13.07.2017	10	wada powierzchni tocznej	



Rys. 4. Punkty rozmieszczenia przetworników do pomiaru drgań [opracowanie własne]

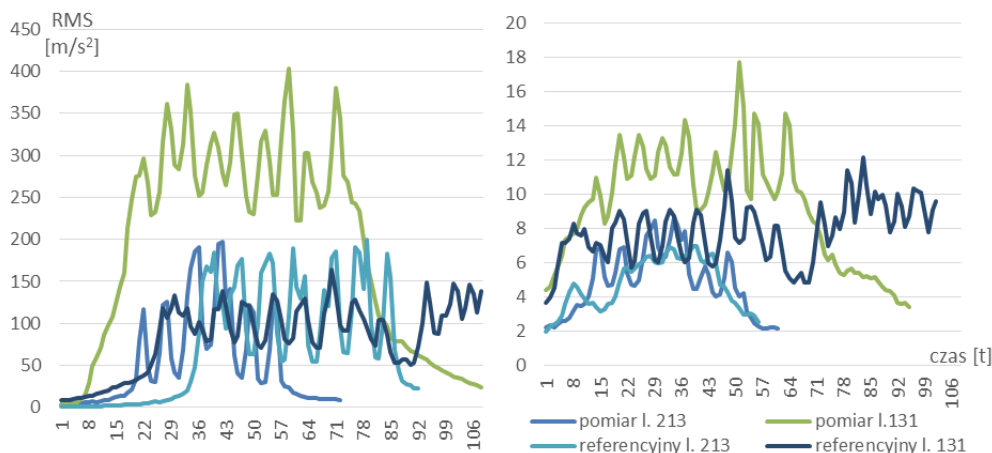
W analizie wyników prowadzonych badań sygnałów drganiowych przyjęto założenie, iż wszystkie koła taboru są zużyte w sposób jednorodny.

3. Analiza wyników pomiarów drgań

Na rysunkach 5–10 przedstawiono wyniki pomiarów wartości skutecznych przyspieszeń drgań dla wybranych wad powierzchni tocznej wraz z pomiarami drgań dla odcinków torów referencyjnych. Krzywe przedstawiają przebiegi czasowe dla średnich wartości drgań ze wszystkich prób pomiarowych podczas przejazdów pociągów.

Rysunek 5 przedstawia porównanie wartości skutecznych przyspieszeń drgań dla odcinka toru referencyjnego z odcinkiem toru z wadą *squat* na linii nr 213 oraz linii nr 131. Wyniki zostały zarejestrowane przez czujnik jednoosiowy typu 4513-B-001 B&K umiejscowiony pod stopką szyny oraz przez czujnik trójosiowy w kierunku X – zgodnym z kierunkiem ruchu pociągów.

Rys. 5. Wyniki pomiarów z czujnika jednoosiowego (po lewej) oraz wyniki z czujnika trójosiowego kierunek X (po prawej) dla odcinka toru z wadą *squat* [opracowanie własne]



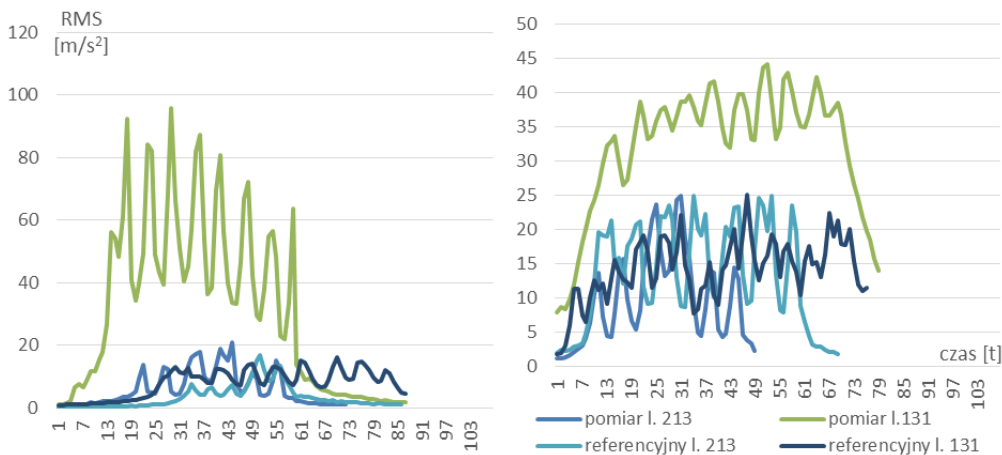
Maksymalne wartości zarejestrowane przez czujnik jednoosiowy dla odcinka toru z wadą *squat* na linii nr 131 wynosiły 400 m/s^2 . Na linii 131 wartości przyspieszeń przy przejeździe po wadzie *squat* były czterokrotnie większe niż rejestrowane sygnały na odcinku toru referencyjnego. Dla linii nr 213, zarejestrowano dwukrotnie większe wartości niż w przypadku odcinka toru referencyjnego. Wyniki uzyskane z czujnika trójosiowego w kierunku X wskazywały dwudziestokrotnie mniejsze wartości przyspieszeń niż wyniki zarejestrowane przez czujnik jednoosiowy. Dla linii nr 131, maksymalna uzyskana wartość RMS z czujnika trójosiowego w kierunku X, wynosiła 18 m/s^2 , co stanowi dwukrotnie większe wartości niż w przypadku toru referencyjnego.

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki badań z czujnika trójosiowego dla kierunku poprzecznego Y do kierunku ruchu pojazdów szynowych oraz kierunku prostopadłego Z do kierunku ruchu pojazdów szynowych przy przejeździe po odcinku toru z wadą *squat*.

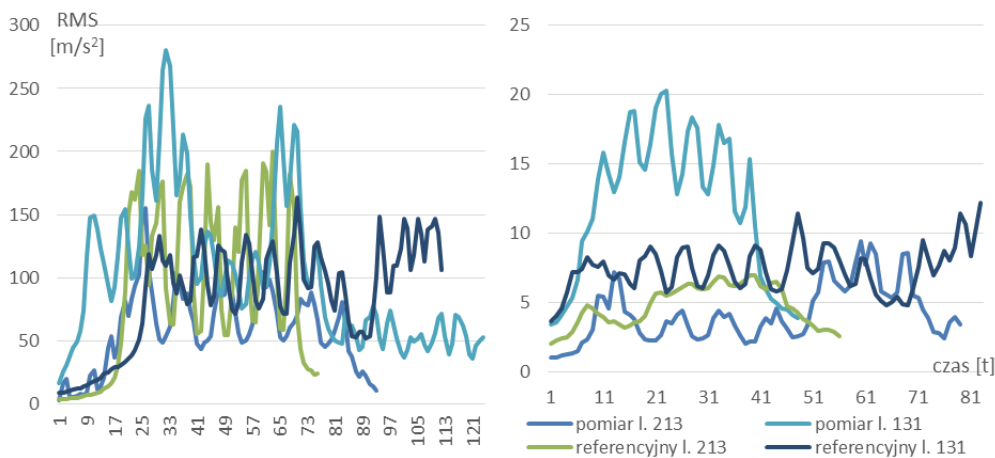
Wartości skuteczne przyspieszeń drgań dla linii nr 131 przy przejeździe po odcinku toru z wadą *squat* w osi Y, były dziewięćkrotnie wyższe niż w przypadku odcinka toru referencyjnego. Wartość maksymalna amplitudy dla osi Y wyniosła 98 m/s^2 . Wyniki aRMS uzyskane z czujnika trójosiowego w kierunku Z są dziesięćkrotnie mniejsze niż wyniki z czujnika jednoosiowego.

Na rysunku 7 przedstawiono porównanie średnich wartości skutecznych przyspieszeń drgań dla odcinka toru referencyjnego z odcinkiem toru z wadą wybuxsowania na liniach nr 213 oraz 131.

Podczas przejazdu pociągu po torze z wadą wybuxsowania, czujnik jednoosiowy zarejestrował zbliżone wartości do wartości zarejestrowanych na odcinku toru referencyjnego na linii nr 213. W przypadku wyników zarejestrowanych przez czujnik trójosiowy w kierunku X, wartości aRMS z przejazdu po wadzie były dwukrotnie wyższe niż wartości z odcinka toru referencyjnego dla obu linii kolejowych.



Rys. 6. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego kierunek Y (po lewej) oraz kierunek Z (po prawej) dla odcinka toru z wadą *squat* [opracowanie własne]



Rys. 7. Wyniki pomiarów z czujnika jednoosiowego (po lewej) oraz wyniki z czujnika trójosiowego kierunek X (po prawej) dla odcinka toru z wadą wybuxsowanie [opracowanie własne]

Na rysunku 8 przedstawiono wyniki badań z czujnika trójosiowego dla kierunku poprzecznego Y oraz kierunku Z przy przejeździe po odcinku toru z wadą wybuxsowanie.

Wartość maksymalna aRMS została zarejestrowana przez czujnik trójosiowy w kierunku Y dla pomiaru na linii nr 131 i wynosiła 32 m/s². Na obu liniach kolejowych zarejestrowano wartości dwukrotnie wyższe niż wartości z odcinka toru referencyjnego w kierunku Y. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego w kierunku Z wskazywały wartości dwukrotnie niższe przy przejeździe po torze z wadą, niż w przypadku wartości z odcinka toru referencyjnego.

Na rysunku 9 przedstawiono porównanie wartości skutecznych przyspieszeń drgań dla czujnika jednoosiowego oraz trójosiowego w kierunku X dla odcinka toru referencyjnego oraz odcinka toru z wadą powierzchni tocznej nr 221 na linii nr 213 oraz 131.

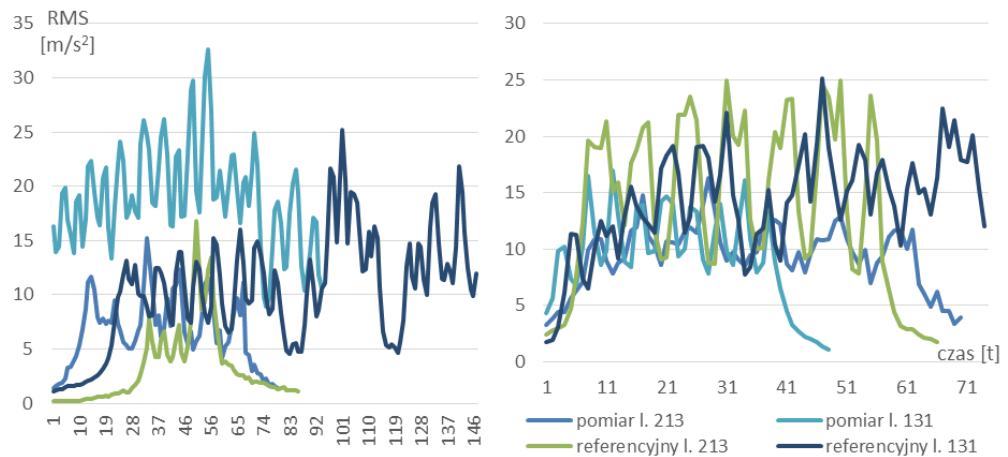
Wyniki badań zarejestrowane przez czujnik jednoosiowy umiejscowiony pod stopką szyny miały zbli-

żone wartości do wartości przejazdu po torze z wadą wybuxsowania. Czujnik trójosiowy w kierunku X, wykazał wartości dwukrotnie większe przy przejeździe po odcinku toru z wadą niż w przypadku odcinka toru referencyjnego.

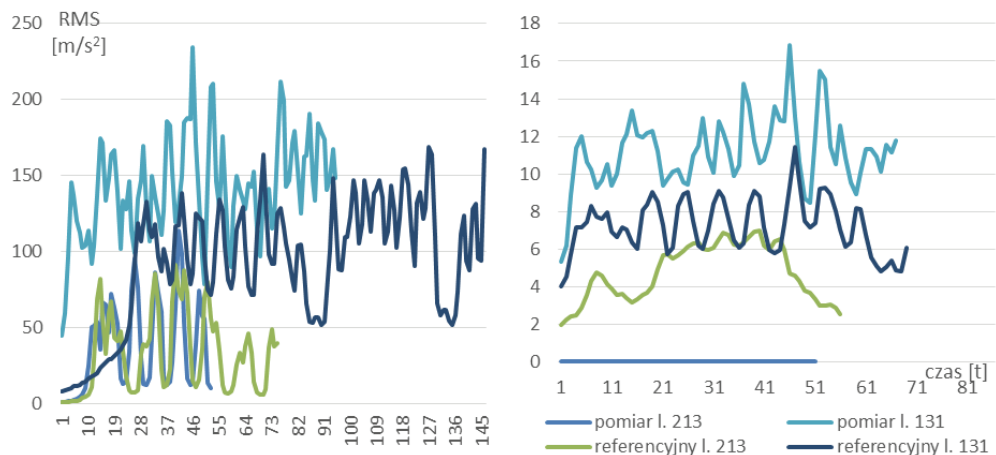
Rysunek 10 przedstawia porównanie wartości skutecznych przyspieszeń drgań z czujnika trójosiowego w kierunku Y i Z dla odcinka toru referencyjnego oraz odcinka toru z wadą powierzchni tocznej nr 221 na linii nr 213 oraz 131.

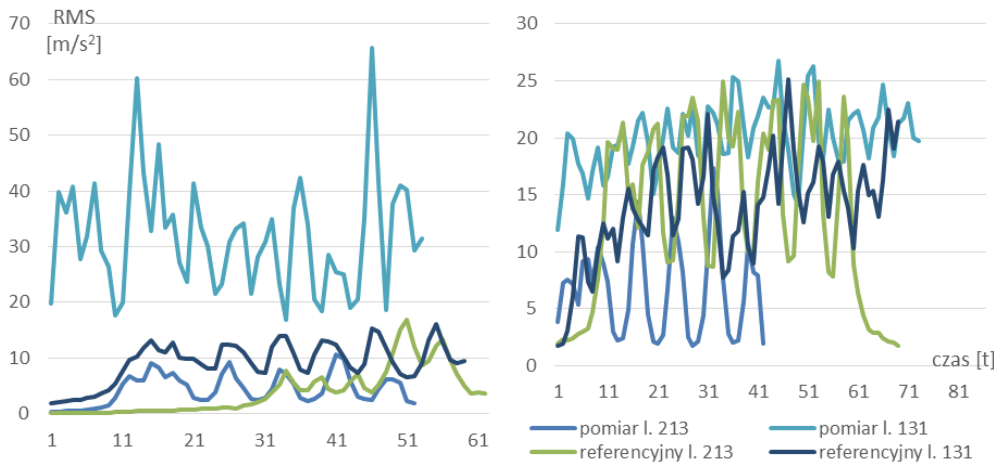
Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego w kierunku Y podczas przejazdu po wadzie powierzchni tocznej wykazały wartości średnio pięciokrotnie większe niż w przypadku odcinka toru referencyjnego dla linii nr 131. W przypadku linii nr 213 nie zaistniała podobna zależność. Przebiegi przedstawione dla kierunku Z czujnika trójosiowego miały zbliżone wartości podczas przejazdu po torze z wadą oraz podczas przejazdu po odcinku toru referencyjnego dla obu linii kolejowych.

Rys. 8. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego kierunek Y (po lewej) oraz kierunek Z (po prawej) dla odcinka toru z wadą wybuxsowanie [opracowanie własne]



Rys. 9. Wyniki pomiarów z czujnika jednoosiowego (po lewej) oraz wyniki z czujnika trójosiowego kierunek X (po prawej) dla odcinka toru z wadą powierzchni tocznej [opracowanie własne]





Rys. 10. Wyniki pomiarów z czujnika trójosiowego kierunku Y (po lewej) oraz kierunku Z (po prawej) dla odcinka toru z wadą powierzchni tocznej [opracowanie własne]

4. Podsumowanie

Przeprowadzone badania, dotyczące wykorzystania drgań do oceny stanu powierzchni tocznej szyn, wykazały zasadność prowadzenia dalszych badań i analiz w tym zakresie w celu możliwości opisu oraz identyfikacji wad powstających podczas eksploatacji linii kolejowych i poszukiwania relacji między rodzajem wady i charakterystyką sygnału drganiowego. Podczas prowadzenia pomiarów, czujnik jednoosiowy drgań typu 4513-B-001 był narażony na oddziaływania poza zakresem pomiarowym, co uwzględniono w opracowanych wynikach. W celu kontynuacji pomiarów zaleca się zastosowanie czujnika o większej dynamice.

Uzyskane wyniki pomiarów drgań z jednego punktu pomiarowego miały zbliżone przebiegi dla poszczególnych kierunków drgań, niezależnie od prędkości i składu pociągu.

W dalszych badaniach autorzy zamierzają rozszerzyć bazę danych pomiarowych o dodatkowe linie kolejowe z parametryzacją wad oraz z uwzględnieniem badań na nawierzchni niekonwencjonalnej. Dodatkowo, autorzy zamierzają zwiększyć liczbę punktów pomiarowych przez zastosowanie czujnika sejsmicznego do obserwacji drgań gruntu pod nawierzchnią kolejową.

Literatura

1. Cempel C.: *Wibroakustyczna diagnostyka maszyn*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne PWN, Warszawa, 1989.

2. Kaewunruen S., Aikawa A., Remennikov A.: *Vibration attenuation at rail joints through under sleeper pads*, *Procedia Engineering*, 2017, nr 189, s. 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* Cambridge, UK: Woodhead Publishing Limited, 2009, (pp. 409–436).
5. Licow R., Tomaszewski F., Urbaniak M.: *Badania wstępne możliwości oceny stanu powierzchni tocznej szyn za pomocą zjawisk wibroakustycznych*, *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej*, tom 25, s. 255–265, 2017.
6. Licow R., Tomaszewski F.: *Identyfikacja wad powierzchni tocznej szyn za pomocą sygnału wibroakustycznego*, *Problemy Kolejnictwa*, 2019, z. 185, s. 71–76.
7. Pacyna J., Krawczyk J.: *Mechanizm powstawania uszkodzeń typu „squat” w szynach kolejowych*, XIX Konferencja Naukowo-Techniczna Huty Katowice S.A., listopad 1999, Rogoźnik, s. 126–147.
8. Pacyna J., Krawczyk J.: *Mechanizm powstawania uszkodzeń typu „wyboksowanie” i „zużycie faliste” w szynach kolejowych*, XIX Konferencja Naukowo-Techniczna Huty Katowice S.A., listopad 1999, Rogoźnik, s. 126–147.
9. www.bruel.com.pl.