

# OCENA WPLYWU KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ NA PROPAGACJĘ W PODTORZU KOLEJOWYM DRGAŃ GENEROWANYCH PRZEZ POCIĄG TYPU PENDOLINO ED 250

---

Ewelina Kwiatkowska

mgr inż., Politechnika Wrocławska, 50-370 Wrocław Wybrzeże Wyspiańskiego 27, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, e-mail: ewelina.kwiatkowska@pwr.edu.pl

---

*Streszczenie. Ocenie poddano wpływ konstrukcji nawierzchni kolejowej, w szczególności podkładów kolejowych na propagację drgań w podtorzu kolejowym przy obciążeniu od pociągu typu Pendolino ED 250. Badania przeprowadzono na torze doświadczalnym o nawierzchni kolejowej zbudowanej z podkładów strunobetonowych ze sprężystymi podporami, podkładami strunobetonowymi typu PS 94 bez izolacji antywibracyjnej. Analizie porównawczej poddano wpływ izolacji antywibracyjnej na propagację drgań w podtorzu kolejowym wywołanych przejazdem pociągu.*

*Słowa kluczowe: podkłady z żelówkami, badania dynamiczne, trwałość nawierzchni*

## 1. Wstęp

Inwestycje w rozwój infrastruktury kolejowej w Polsce w efekcie wstąpienia Polski do Unii Europejskiej znacznie wzrosły. Modernizację linii kolejowych poprawiają bezpieczeństwo i komfort podróżujących koleją. Wychodząc naprzeciw rosnącym oczekiwaniom pasażerów należy zwrócić szczególną uwagę na komfort jazdy, prędkość i bezpieczeństwo. Komfort podróżujących oceniany jest między innymi w poziomie hałasu i odczuwalnych drgań generowanych przez pociąg przez pasażera. Komfort zależy, od jakości taboru kolejowego i nawierzchni kolejowej, prędkość jazdy pociągów wpływa na konkurencyjność transportu szynowego. Na prędkość jazdy wpływa stan techniczny taboru i nawierzchni kolejowej, dodatkowo należy zwrócić szczególną uwagę na trwałość wykonanych modernizacji linii kolejowych. Utrzymanie projektowanej geometrii toru w czasie eksploatacji wpływa na bezpieczeństwo podróżujących koleją.

W wyniku rozwoju kolejnictwa w Polsce poprzez dostosowywanie infrastruktury do międzynarodowych standardów, stosowane są izolacje antywibracyjne w konstrukcji toru kolejowego. Izolacje można podzielić między innymi na przekładki podszytowe, systemy szyn w otulinie, maty podtłuczniowe i podkłady z wibroizolacją [1].

Niniejsza praca poświęcona jest badaniom terenowym przeprowadzonym na torze kolejowym z wbudowanymi pierwszy raz w Polsce w nawierzchnię podkła-

dów strunobetonowych z wibroizolacją. Badania miały na celu ocenę wpływu zastosowania izolacji antywibracyjnej na propagację drgań wywołanych przejazdem pociągu w porównaniu z klasyczną nawierzchnią o podkładach strunobetonowych bez izolacji antywibracyjnej. Badania pod wpływem obciążenia generowanego przez pociąg typu Pendolino ED 250 przeprowadzono na Torze Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie na dwóch odcinkach badawczych. Ocenie poddano propagację w podtorzu kolejowym drgań generowanych przez pociąg w zależności od prędkości. Zmniejszenie oddziaływań dynamicznych na konstrukcję torowiska i podtorza wpłynie na wydłużenie okresów międzynaprawczych zapewniając niesumienność geometrii toru. W niniejszej pracy poddano ocenie wpływ żelówek stosowanych na podkładach kolejowych w celu obniżenia oddziaływań dynamicznych na podtorze kolejowe.

## 2. Cel badań

Niniejsze opracowanie stanowi część programu badawczego prowadzonego na Politechnice Wrocławskiej poświęconego innowacyjnym podkładom strunobetonowym z wibroizolacją na spodniej powierzchni. W opracowaniu prezentowane są wyniki badań przeprowadzonych na dwóch odcinkach badawczych toru kolejowego. Odcinki badawcze toru o nawierzchni podsypkowej ze względu na lokalizację charakteryzowały się niezmiennymi warunkami gruntowo-wodnymi i geometrią toru. Znajdowały się one na Torze Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa oddział w Żmigrodzie.

Celem pracy było skonstruowanie stanowisk badawczych na torze kolejowym o najbardziej zbliżonej do siebie geometrii i konstrukcji umożliwiających równoczesne badanie dwóch typów podkładów. Wprowadzając zmienny parametr w postaci izolacji antywibracyjnej. Takie ujęcie zagadnienia badawczego pozwoliło na ocenę jak zastosowana izolacja wpłynie na poziom grań w nawierzchni i podtorzu kolejowy[2].

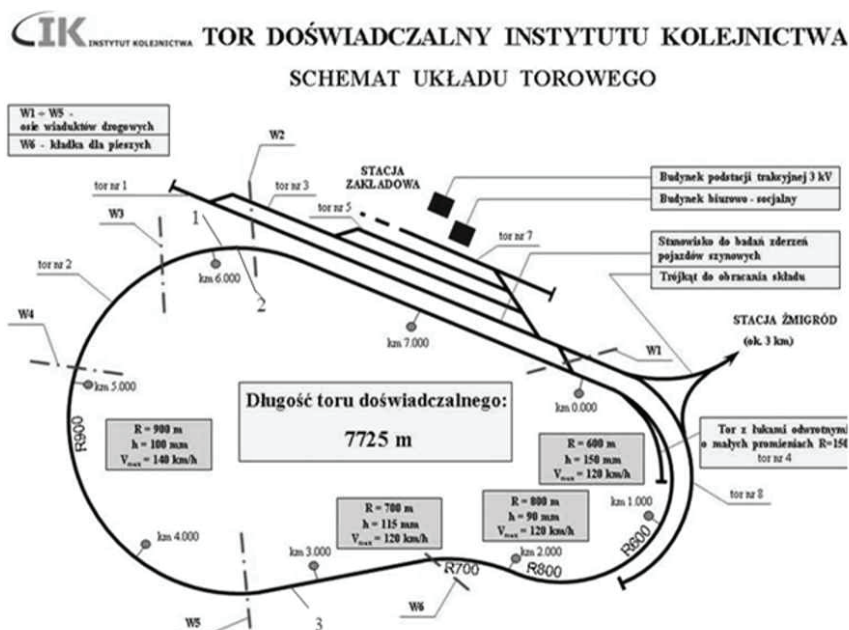
Analizowane odcinki toru poddano obciążeniu od pociągu, badania przeprowadzono przy prędkości od 30 do 90 km/h. Ocenie poddano wpływ zastosowania izolacji antywibracyjnej na spodniej powierzchni podkładów na propagację grań w podtorze, który zależy od prędkości jazdy. Badania przeprowadzono równocześnie na odcinku z izolacją antywibracyjną i bez izolacji w podkładach strunobetonowych.

## 3. Lokalizacja stanowiska badawczego

Na Torze Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie zlokalizowano dwa stanowiska badawcze. Pierwszy odcinek badawczy składał się z nawierzchni typu klasycznego o podkładach strunobetonowych PS 94 zlokalizowanych w kilo-

metrze 6+020. Drugi odcinek badawczy składał się z nawierzchni typu klasycznego o podkładach strunobetonowych PS 94 z izolacją antywibracyjną typu CDM-UPS-I-10b zlokalizowanych w kilometrze 6+120 (rys. 1). Podkłady strunobetonowe na potrzeby prowadzonych prac badawczych wytworzono w Wytwórni Podkładów Strunobetonowych firmy Track Tec S.A. Zakład w Goczałkowie woj. dolnośląskie, na których w etapie produkcji zamontowano izolacje antywibracyjną typu CDM-UPS- I-10 b. [2].

Stanowiska badawcze lokalizowano w odległości 100 metrów, w celu umożliwienia równoczesnego pomiaru propagacji grań w podtorzu kolejowym generowanych przez przejeżdżający pociąg.

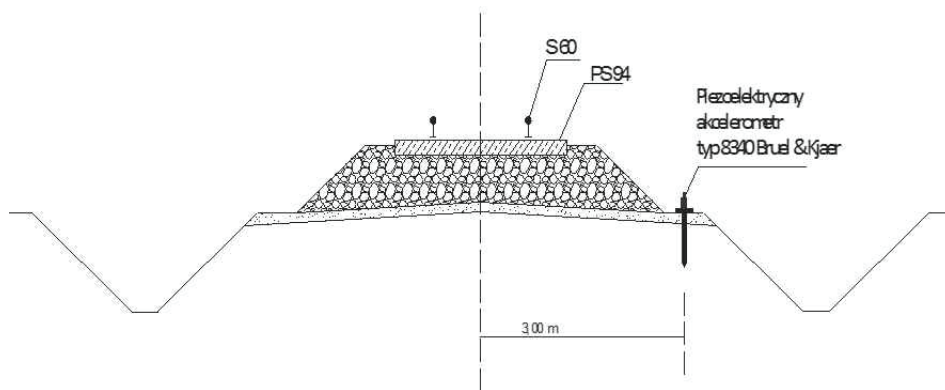


Rys. 1. Schemat budowy Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Stanowiska badawcze oznaczone 1 - podkłady strunobetonowe typu PS 94 w kilometrze 6+020, 2- podkłady strunobetonowe PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS- I-10B w kilometrze 6+120

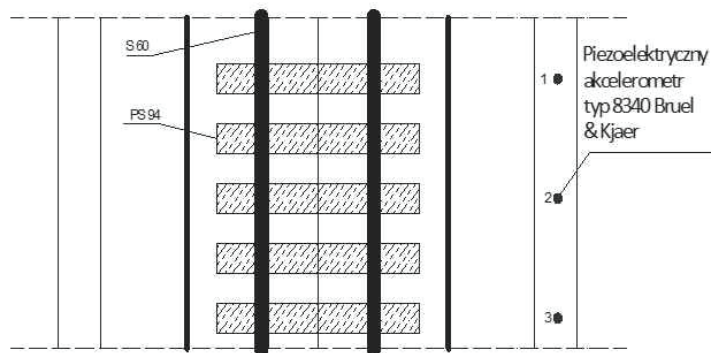
#### 4. Lokalizacja punktów pomiarowych

Lokalizacja punktów pomiarowych umożliwić miała prowadzenie pomiarów pod ruchem kolejowym, wymagającym ze względów bezpieczeństwa zachowania skrajni budowli. Czujniki zlokalizowano w osi co drugiego podkładu strunobetonowego i co drugiego -podkładu strunobetonowego z izolacją w odległości 3 metrów od osi toru. W badaniach wykorzystano sześć czujników piezoelektrycznych rejestrujących przyspieszenia pionowe (rys. 2, 3). Schemat lokalizacji dla odcinka toru

z podkładami strunobetonowymi z izolacją antywibracyjną jest analogicznych jak w rys. 2 i rys. 3 [4].



Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego nr 1. Przekrój poprzeczny toru wraz z lokalizacją czujników



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego nr 2 z podkładami strunobetonowymi PS 94 wraz z lokalizacją czujników



Rys. 4. Zdjęcie stanowiska badawczego nr 1

## 5. Wstępne badania wpływu nawierzchni kolejowej poddanej obciążeniu od pojazdu szynowego na propagację generowanych drgań w podtorzu kolejowym

W celu sprawdzenia poprawności opracowanej metody badawczej i konstrukcji stanowiska przeprowadzono badania wstępne. W badaniach obciążeń wykorzystano drezynę kolejową, jadącą z prędkościami 30 km/h i 50 km/h. Analizie porównawczej poddano dwa odcinki toru kolejowego z izolacją antywibracyjną w podkładach strunobetonowych i bez izolacji. Porównaniu poddano przyspieszenia drgań generowanych przez drezynę przez nawierzchnie w podtorzu kolejowym rys. 3. Pomiary przeprowadzono równocześnie na odcinku z izolacją antywibracyjną i bez na spodniej powierzchni podkładu rys. 5

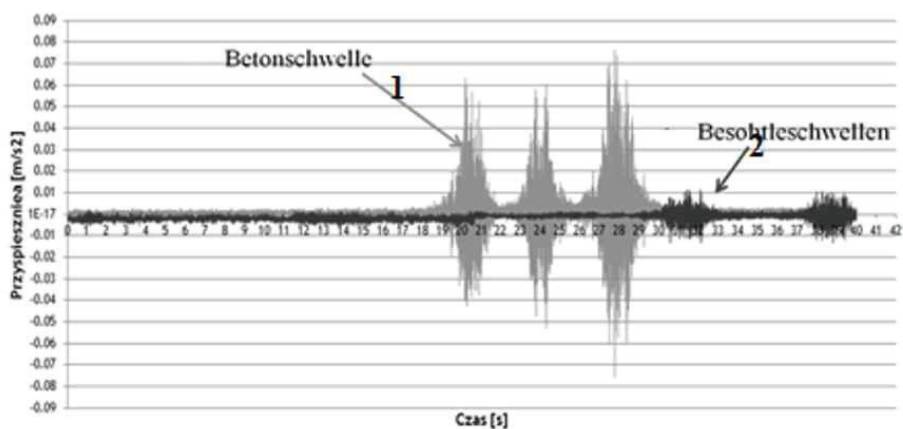


*Rys. 5. Przejazd drezyną przez stanowisko badawcze*

Wyniki przeprowadzonych pomiarów potwierdziły poprawność konstrukcji stanowiska badawczego, wykorzystanego następnie przy obciążeniu od przejazdu pociągu typu Pendolino ED 250. Wyniki pomiarów przyspieszeń na dwóch stanowiskach badawczych przy obciążeniu od drezyny z prędkością 30 km/h wykazuje znaczący wpływ izolacji antywibracyjnej na obniżenie propagacji drgań na poziomie podtorza kolejowego.

Wstępna analiza wyników wykazuje, że maksymalne przyspieszenia dla nawierzchni o podkładach strunobetonowych z izolacją antywibracyjną wynoszą  $0,012 \text{ m/s}^2$  pomierzone na poziomie podtorza kolejowego w odległości trzech metrów od osi toru. Równoczesny pomiar na odcinku bez izolacji antywibracyjnej w postaci żelówek podkładów - przyspieszenie wynosi  $0,078 \text{ m/s}^2$  [3].

Izolacja antywibracyjna zastosowana w podkładach strunobetonowych na styku z podsypką tłuczniovą wpłynęła na zmniejszenie przyspieszeń zarejestrowanych na poziomie podtorza – sześciokrotnie - w porównaniu do nawierzchni bez izolacji antywibracyjnej.



Rys. 6. Przebieg czasowy przyspieszeń składowych drgań w wyniku przejazdu drezyny  $V=30$  km/h, krzywa nr 1 podkłady typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa nr 2 podkłady typu PS 94.

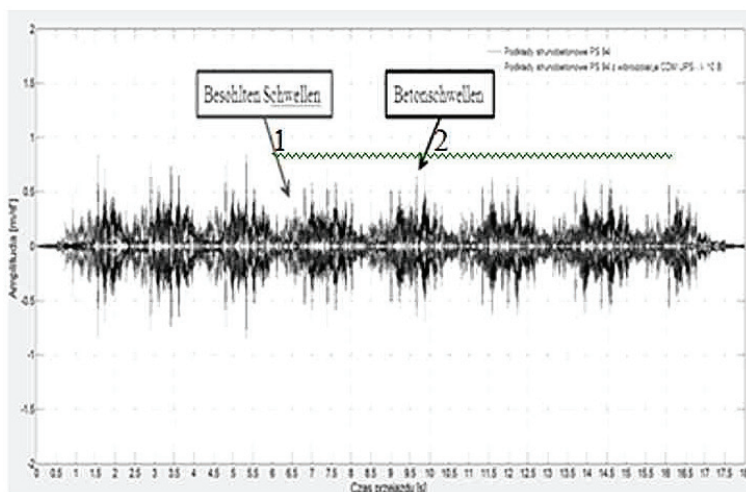
## 6. Wyniki badań wpływu izolacji antywibracyjnej stosowanej na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych na propagację drgań generowanych przez pociąg typu Pendolino ED 250 zarejestrowanych na poziomie podtorza kolejowego

Badania przeprowadzono pod obciążeniem od pociągu typu Pendolino ED 250. Rejestrację obciążenia przeprowadzono równocześnie na torze kolejowym o nawierzchni z podkładami PS 94 i PS 94 z izolacją antywibracyjną. Prowadzono pomiary przy prędkości od 30 km/h od 95 km/h (rys. 7). Szczegółowej analizie poddano prędkości jazdy 32,13 km/h i 93,7 km/h.

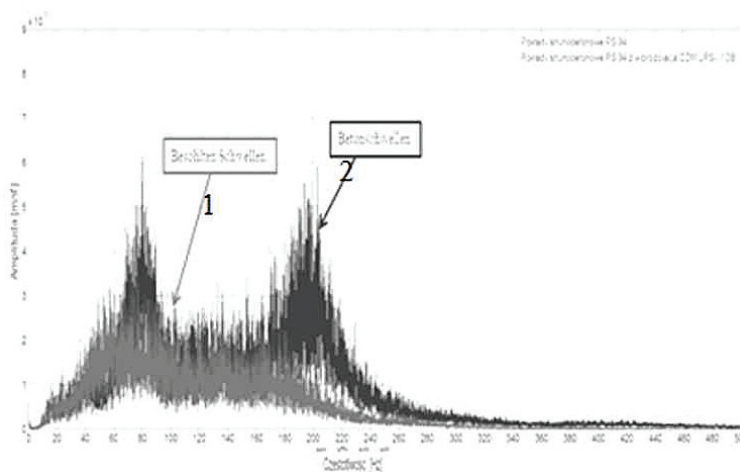


Rys. 7. Pociąg typu Pendolino ED 250 na stanowisku badawczym

Przeprowadzono analizę porównawczą obwiedni przyspieszeń drgań zarejestrowanych na poziomie podtorza przy obciążeniu nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS I10b i podkładami strunobetonowymi PS 94. Analizę przeprowadzono dla prędkości przejazdu pociągu Pendolino ED 250 wynoszącej 32,13 km/h.



Rys. 8. Przebieg czasowy przyspieszeń składowych drgań w wyniku przejazdu pociągu Pendolino ED 250 z prędkością  $V=32,13$  km/h, krzywa nr 1 podkłady typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa nr 2 podkłady strunobetonowe typu PS 94



Rys. 9. Analiza widmowa przyspieszeń drgań w wyniku przejazdu pociągu Pendolino ED 250 z prędkością  $V=32,13$  km/h, krzywa nr 1 podkłady typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa nr 2 podkłady strunobetonowe typu PS 94

Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS I10b średnia wartość przyspieszania wynosi  $0.1354$  m/s<sup>2</sup>, maksymalne zarejestrowane przyspieszanie wynosi  $0.4820$  m/s<sup>2</sup>. Dla nawierzchni z podkładami

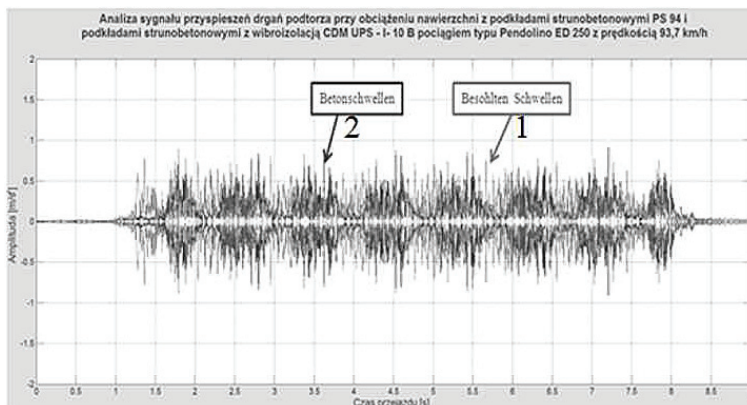
strunobetonowymi PS 94 bez izolacji antywibracyjnej średnia wartość przyspieszenia wynosi  $0.1640 \text{ m/s}^2$ , maksymalne zarejestrowane przyspieszenie wynosi  $0.9874 \text{ m/s}^2$  (rys. 8).

Przy prędkości  $32.13 \text{ km/h}$  izolacja antywibracyjna zastosowana w podkładach strunobetonowych na styku z podsypką tłuczniową wpłynęła na zmniejszenie przyspieszeń zarejestrowanych na poziomie podtorza dwukrotnie w porównaniu do nawierzchni bez izolacji antywibracyjnej.

Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS I10b maksymalna amplituda przyspieszeń wynosi  $0.4556 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$  dla częstotliwości  $61 \text{ Hz}$ . Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 bez izolacji antywibracyjnej maksymalna amplituda przyspieszeń wynosi  $0.7864 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$  dla częstotliwości  $210 \text{ Hz}$  (rys. 9) [5].

Analiza widmowa obrazuje zmniejszenie oddziaływań dynamicznych przy nawierzchni z izolacją antywibracyjną na spodniej powierzchni podkładu strunobetonowego. Wzmocnienie sygnału przy klasycznej nawierzchni jest niemal dwukrotne.

Następnie przeprowadzono analizę porównawczą obwiedni przyspieszeń drgań zarejestrowanych na poziomie podtorza przy obciążeniu nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS I10b i podkładami strunobetonowymi PS 94. Drugą analizę przeprowadzono dla prędkości przejazdu pociągu Pendolino ED 250 wynoszącej  $93,7 \text{ km/h}$ .

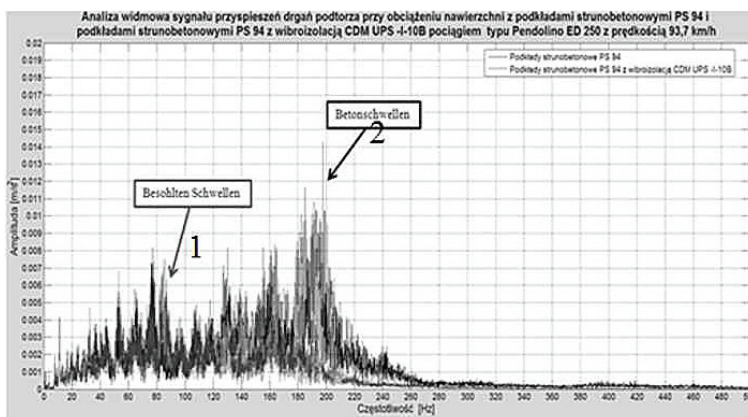


Rys. 10. Przebieg czasowy przyspieszeń składowych drgań w wyniku przejazdu pociągu Pendolino ED 250 z prędkością  $V=93,7 \text{ km/h}$ , krzywa nr 1 podkłady typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa nr 2 podkłady strunobetonowe typu PS 94

Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS I10b średnia wartość przyspieszenia wynosi  $0.1880 \text{ m/s}^2$ , maksymalne zarejestrowane przyspieszenie wynosi  $0.7501 \text{ m/s}^2$ . Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 bez izolacji antywibracyjnej średnia wartość przyspieszenia wynosi  $0.2358 \text{ m/s}^2$ , maksymalne zarejestrowane przyspieszenie wynosi  $0.8950 \text{ m/s}^2$  (rys. 10).



Przy prędkości 93,7 km/h izolacja antywibracyjna zastosowana w podkładach strunobetonowych na styku z podsypką tłuczniową wpłynęła na zmniejszenie przyspieszeń zarejestrowanych na poziome podtorza w porównaniu do nawierzchni bez izolacji antywibracyjnej.



Rys. 11. Analiza widmowa przyspieszeń drgań w wyniku przejazdu pociągu Pendolino ED 250 z prędkością  $V=93,7$  km/h, krzywa nr 1 podkładu typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa nr 2 podkładu strunobetonowego typu PS 94

Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS I10b maksymalna amplituda przyspieszeń wynosi  $0.0078$  [m/s<sup>2</sup>] dla częstotliwości 83 Hz. Dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi PS 94 bez izolacji antywibracyjnej maksymalna amplituda przyspieszeń wynosi  $0.0145$  [m/s<sup>2</sup>] dla częstotliwości 198 Hz (rys. 11).

Analiza widmowa obrazuje zmniejszenie oddziaływań dynamicznych przy nawierzchni z izolacją antywibracyjną na spodniej powierzchni podkładu strunobetonowego. Wzmocnienie zarejestrowanego sygnału przy klasycznej nawierzchni jest niemal dwukrotne w porównaniu z nawierzchnią o podkładach z żelówkami. Przy częstotliwości 200 Hz charakterystycznej dla linii kolejowych wyższych prędkości następuje wzmocnienie sygnału przy podkładach PS 94 bez izolacji antywibracyjnej, przy równoczesnym wytłumieniu na odcinku toru z izolacją antywibracyjną (rys. 11).

## 7. Podsumowanie

Przeprowadzone badania wpływu izolacji antywibracyjnej zastosowanej na spodniej powierzchni podkładu strunobetonowego na propagację drgań wywołanych przez przejazd pociągu wykazują dwukrotne zmniejszenie oddziaływań dynamicznych na poziomie podtorza kolejowego w porównaniu z nawierzchnią bez izolacji antywibracyjnej. Przeprowadzone badania in situ na odcinkach badawczych zlokalizowanym na torze kolejowym i poddanych rzeczywistemu obciążeniu

od pociągów, pozwoliły na porównanie skuteczności stosowania izolacji w zależności o prędkości prowadzonego ruchu kolejowego [6,7].

Przedstawione wyniki badań wykazują zmniejszenie oddziaływań dynamicznych zarejestrowanych w podtorzu w wyniku zastosowania izolacji antywibracyjnej. Ograniczenie przeciążeń podtorza kolejowego i w konsekwencji nawierzchni, pozwala na utrzymanie prawidłowej geometrii toru. Niezmiennosc geometrii toru w czasie eksploatacji pozwala na prowadzenie ruchu z maksymalną prędkością projektową, poprawiając komfort podróżujących koleją, bezpieczeństwo i zmniejszając koszty utrzymaniowe.

## Literatura

- [1] Kwiatkowska E., Innowacyjne badania podtorza kolejowego. Technika Transportu Szynowego 4/2013.
- [2] Krużyński M., Kwiatkowska E., Zwolski J., Badania dynamiczne toru kolejowego. Przegląd Komunikacyjny 11/2012.
- [3] Kawecki J., Stypuła K., Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne. Politechnika Krakowska, Kraków 2013.
- [4] Krużyński M., Kwiatkowska E., Wibroizolacja podkładów kolejowych. Konferencja „Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania Infrastruktura” 2010.
- [5] Krużyński M., Kwiatkowska E., Ochrona torowiska w efekcie stosowania wibroizolacji podkładów kolejowych. Konferencja Drogi Kolejowe, 2011.
- [6] Krużyński M., Kwiatkowska E., Badania eksperymentalne podtorza kolejowego. Konferencja Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania Infrastruktura, 2012.
- [7] Krużyński M., Kwiatkowska E., Zwolski J., Badania dynamiczne toru kolejowego. Konferencja Problemy budowy i naprawy podtorza kolejowego, 2012.
- [8] Krużyński M., Kwiatkowska E., Grosel J., Obciążenia podtorza kolejowego od pojazdu szynowego typu Pendolino - badania terenowe. Konferencja Nowoczesne Technologie i Systemy Zarządzania Infrastruktura, 2013.