

# Podkłady strunobetonowe z wibroizolacją - badania in situ

Ewelina Kwiatkowska, Jacek Grosel

Przeprowadzono badania terenowe odcinków linii kolejowej zbudowanej z dwóch typów podkładów strunobetonowych. Badaniom poddano wpływ zastosowanych podkładów strunobetonowych z izolacją antywibracyjną i bez izolacji antywibracyjnej na przyspieszenia drgań w podtorzu kolejowym. Odcinki badawcze poddane zostały obciążeniu od pociągu typu Pendolino ED 250. Oceniono poziom redukcji przyspieszeń w podtorzu w wyniku zastosowania izolacji antywibracyjnej na styku podkładu i podsypki tłuczniowej.



mgr inż.  
Ewelina Kwiatkowska  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa  
Lądowego i Wodnego  
Zakład Infrastruktury  
Transportu Szybnego



dr inż.  
Jacek Grosel  
Politechnika Wrocławska  
Wydział Budownictwa  
Lądowego i Wodnego  
Zakład Infrastruktury  
Transportu Szybnego

## Wstęp

Od momentu wejścia Polski do Unii Europejskiej w 2005 roku nastąpił znaczący wzrost inwestycji na Polskich Linjach Kolejowych. Realizowane prace modernizacyjne i rewitalizacyjne swoim zakresem objęły szlaki kolejowe i stacje. Modernizacje odcinków szlakowych mają na celu poprawę bezpieczeństwa i komfortu podróżujących koleją zwiększając prędkość jazdy pociągów. Na odcinkach szlakowych inwestorem na kolejach są Polskie Linie Kolejowe, które położyły szczególny nacisk na zwiększenie bezpieczeństwa i prędkości jazdy pociągów oraz zmniejszenie oddziaływań akustycznych w zurbanizowanych rejonach linii kolejowych.

Zwiększenie prędkości jazdy na liniach pasażerskich wymaga dostosowania drogi szynowej do wymagań technicznych linii kategorii magistralnych. Modernizacje obejmują zmianę geometrii toru kolejowego, wymianę nawierzchni kolejowej dostosowując drogę szynową do wymagań technicznych projektowanych linii kolejowych. W wyniku zwiększonych prędkości przejazdów pociągów następuje zwiększenie oddziaływań

dynamicznych pociągu na konstrukcję toru. Wzrost obciążeń dynamicznych powoduje generowanie drgań akustycznych, degradację nawierzchni kolejowej i obiektów inżynierskich takich jak mosty, wiadukty czy przejazdy kolejowe.

W wyniku rozwoju techniki kolejowej dążącej do wzrostu bezpieczeństwa i komfortu jazdy opracowano innowacyjne materiały budowlane zmniejszające emisję hałasu. Innowacyjne materiały budowlane stosowane na liniach kolejowych mające na celu zmniejszenie oddziaływań dynamicznych oraz wpływające na redukcję hałasu i propagację drgań w nawierzchni można podzielić na trzy grupy. Pierwsza grupa to przekładki podszytowe, do drugiej zaliczamy strunobetonowe podkłady z żelówkami, trzecia grupa to maty podtłuczniowe.

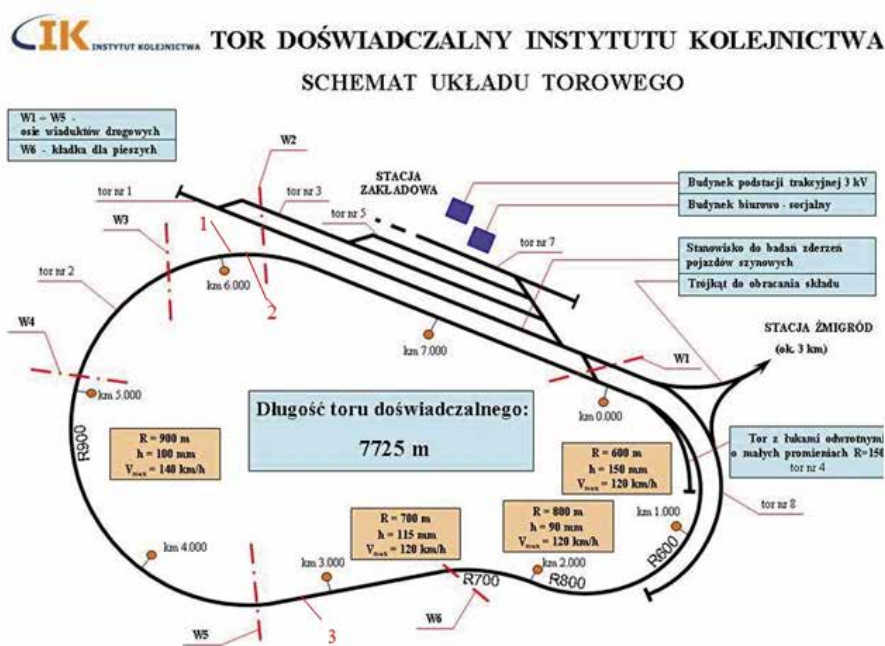
Niniejsze opracowanie zostało poświęcone badaniom wpływu zastosowania wibroizolacji w podkładach strunobetonowych (żelówek). Badania przeprowadzono na torze kolejowym Instytutu Kolejnictwa w Warszawie

w Ośrodku Eksploatacji Toru Doświadczalnego w Żmigrodzie. Analizie poddano poziom propagacji grań przenoszonych przez pociąg typu Pendolino ED250 na nawierzchnię o podkładach strunobetonowych PS94 i strunobetonowych z izolacją antywibracyjną na spodniej powierzchni. Badania przeprowadzono na styku nawierzchni kolejowej i podtorza w celu oceny wpływu zastosowanej izolacji antywibracyjnej.

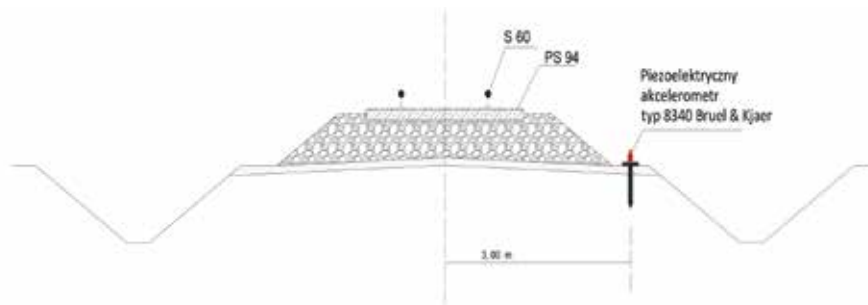
## Cel badań

Niniejsza praca ma na celu opracowanie metody badawczej pozwalającej na identyfikację obciążeń dynamicznych przekazywanych przez pociąg na nawierzchnie kolejowe i podtorze kolejowe. Badania propagacji drgań podtorza kolejowym mają na celu ocenę wpływu zastosowanych podkładów kolejowych na przekazywane obciążenie dynamiczne.

Analizie poddano dwa odcinki badawcze, pierwszy zbudowany z podkładów struno-



1. Schemat budowy Toru Doświadczalnego Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Stanowiska badawcze oznaczono czerwonymi liczbami: 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



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

betonowych typu PS 94, drugi z podkładów PS 94 z izolacją a antywibracyjną na spodniej powierzchni. Badania porównawcze dwóch typów podkładów mają na celu ocenę wpływu zastosowania sprężystych podpór podkładów na oddziaływanie dynamiczne w podtorzu kolejowym.

Badania przeprowadzono na torze kolejowym poddanym obciążeniu do pociągiem typu Pendolino ED 250. Badania mają na celu pomiar charakterystyk dynamicznego obciążania generowanego przez pociąg osobowy. W dalszym etapie prac na podstawie wyników badań przeprowadzonych przy obciążeniu pociągiem zostanie opracowany i wykalibrowany model numerycznych wykorzystujący metodę elementów skończonych. Model obejmować będzie analizę MES nawierzchni kolejowej o różnym typie podkładów i obciążeniu dynamicznym symulującym pociągi towarowe i osobowe [1].

## Stanowisko badawcze

Stanowiska badawcze zbudowano na Torze Doświadczalnym Instytutu Kolejnictwa w Żmigrodzie. Pierwszy odcinek badawczy składał się z nawierzchni typu klasycznego o podkładach strunobetonowych PS 94 zlokalizowanych w kilometrze 6+020. Drugi odcinek badawczy składał się z nawierzchni

typu klasycznego o podkładach strunobetonowych PS 94 z izolacją antywibracyjną typu CDM -UPS-I10- B zlokalizowanych w kilometrze 6+120 (rys. 1) [2].



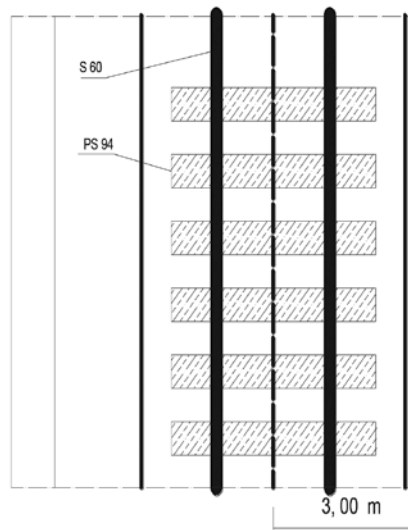
4. Zdjęcie stanowiska badawczego nr 1.

## Schematy lokalizacji punktów pomiarowych.

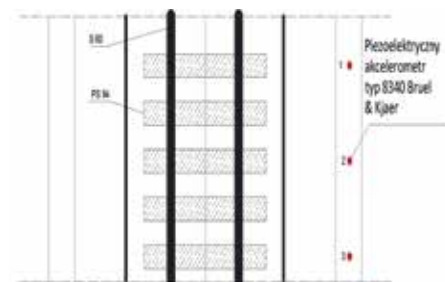
Badania przeprowadzono stosując dwa schematy lokalizacji punktów pomiarowych.

Pierwszy schemat obejmowała pomiar na jednym odcinku badawczym rejestrującym pojedynczy przejazd pociągu. Czujniki zlokalizowano w osi podkładów strunobetonowych i strunobetonowych z wibroizolacją w odległości 3 metrów od osi toru (rys. 2).

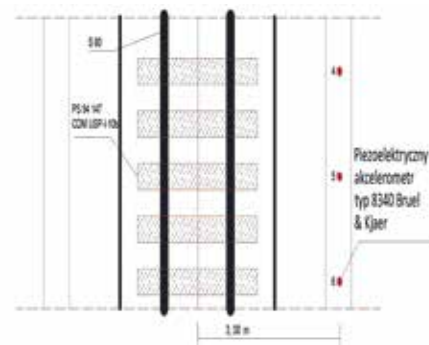
Drugi schemat obejmowała pomiar równocześnie na dwóch odcinkach badawczych na z rejestracją sygnałów podczas pojedynczego przejazdu pociągu. Czujniki zlokalizowano w osi, co drugiego podkładu strunobetonowego bez wibroizolacji i co drugiego podkładu strunobetonowego z wibroizolacją w odległości 3 metrów od osi toru rys. 5, rys. 6.



3. Schemat stanowiska badawczego nr 1 wraz z lokalizacją czujników w planie.



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



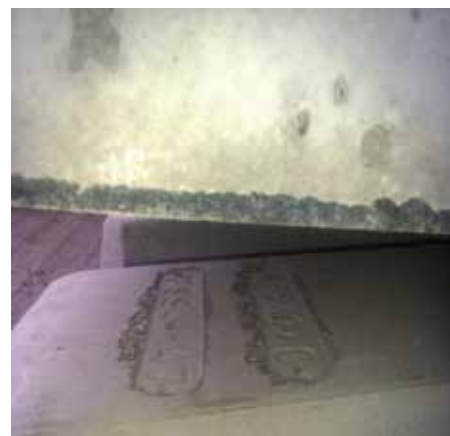
6. Schemat stanowiska badawczego nr 2 z podkładami strunobetonowymi PS 94 z izolacją antywibracyjną CDM -UPS-I-10B wraz z lokalizacją czujników

Lokalizacja stanowiska badawczego nr 1 i 2 umożliwiła prowadzenie ruchu kolejowego z prędkością do 100 km/h, stanowisko znajdowało się poza skrajnią taboru rys. 7.



7. Pociąg typu Pendolino ED 250 na stanowisku badawczym nr 2.

W badaniach porównawczych zastosowano izolację antywibracyjną produkcji firmy CDM typu CDM- UPS-I-10B o grubości 10 mm, wykonaną z granulatu gumowego, ciężarze własnym 9,9 kg/m<sup>2</sup> rys. 8.



8. Wibroizolacja typu CDM-UPS-I-10B na spodniej powierzchni podkładu strunobetonowego PS 94

Badane odcinki toru kolejowego zostały poddane obciążeniu od pociągu Pednolino ED 250 jadącego z prędkością  $V_1 = 50$  km/h,  $V_2 = 70$  km/h,  $V_3 = 105$  km/h. Na stanowisku badawczym nr 1 zastosowano 6 czujników

w osi podkładów strunobetonowych i strunobetonowych z wibroizolacją.

Na stanowisku badawczym nr 2 tor poddano obciążeniu pociągiem jadącym z prędkościami:  $V_4=50$  km/h,  $V_5=90$  km/h,  $V_6=105$  km/h. Pociąg Pendolino ED 250 o długości 187,4m (rys 9), składa się z siedmiu członów, 14 wózków, 28 osi.



9. Pociąg Pendolino ED 250

## Metoda rejestracji i przetwarzania danych

Drgania mierzono przy użyciu wysokoczułych akcelerometrów sejsmicznych Bruel&Kjaer typ 8340. Zastosowane przetworniki to akcelerometry piezoelektryczne CCLD z wbudowanym przedwzmacniaczem, charakteryzują się one wysoką czułością i bardzo niskimi szumami (rys.10)[2].

Podstawowe parametry akcelerometru sejsmicznego typu 8340 są następujące:

- bardzo wysoka czułość – 10000 mV/g,
- zakres częstotliwości od 0,1 Hz do 1500 Hz,
- zakres pomiarowy do 0,5 g (4,9 m/s<sup>2</sup>),
- bardzo niski poziom szumów, do 25 µg,
- hermetyczna stalowa obudowa, umożliwiająca wykorzystywanie akcelerometrów w badaniach polowych,
- masa – 775 gramów,
- izolowana podstawa.

Akcelerometry mierzyły drgania podtorza za pośrednictwem wbitych metalowych rętów/szpil o długości 1 m. Sygnał z akcelerometrów przekazywany był do kasy pomiarowej zmocnionym kablem militarnym, zastosowanie takiego kabla z potrójnym ekranowaniem minimalizuje zakłócający wpływ środowiska na pomiary. Wszystkie przetworniki były jednocześnie połączone z kasetą pomiarową Bruel&Kjaer typu 3560-C systemu PULSE, która umożliwia podłączenie do 17 przetworników typu CCLD z realizacją jednoczesnych, współfazowych pomiarów bez multipleksowania. Zakres częstotliwości mierzonych sygnałów wynosi od 0 Hz do 25,6 kHz. W przypadkach przetworników CCLD zastosowano filtr górno-przepustowy 0,7 Hz. Dynamika modułów pomiarowych kasy wynosi 120 dB w przypadku pomiarów szerokopasmowych, co pokrywa zakres napięć wyjściowych typowego akcelerometru z wbudowanym przedwzmacniaczem CCLD. Moduły akwi-

zycji wykonane są w technice Dyn-X, tzn. zawierają dwa 24 bitowe przetworniki A/C. Efektem takiego rozwiązania jest praktyczne wyeliminowanie występowania przesterowań pomiarowych wynikających ze złych ustawień sprzętowych. Zastosowano oprogramowanie dedykowane do wykorzystywanego sprzętu, w przypadku opisywanych pomiarów był to program (*Time Data Recorder v.15.0*) służący tylko do rejestracji pomiarów na dysku twardym komputera w celu późniejszej analizy. Oprogramowanie pozwala na obserwację rejestrowanych drgań. Zastosowany system pomiarowy umożliwia detekcję i sygnalizację uszkodzeń okablowania, a także posiada sygnalizację przesterowań we wszystkich kanałach. Całość systemu jest przenośna i dostosowana do użytku terenowego w różnych warunkach atmosferycznych. Użyty sprzęt wyposażony jest w podtrzymanie baterijne na wypadek utraty zasilania przez minimum 3 godziny z możliwością podmiiany akumulatorów bez przerywania pracy.

## Wyniki badań

Analizie poddano średnie wartości przy-

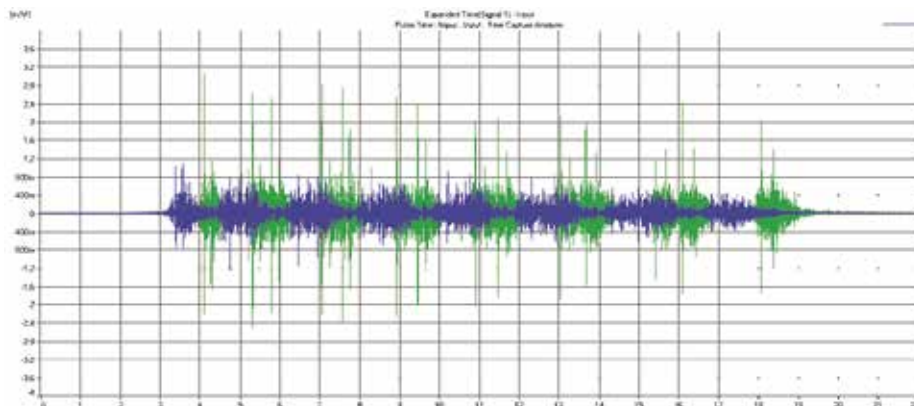


10. Piezoelektryczny akcelerometr sejsmiczny typu 8340

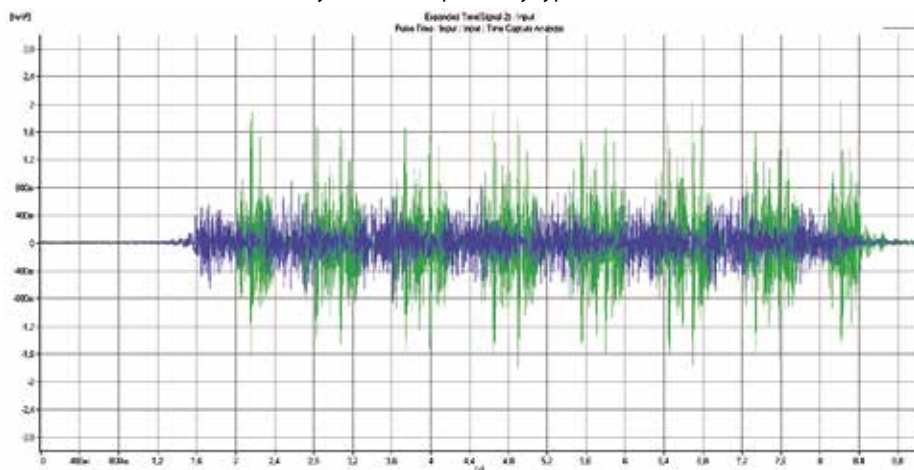
spieszeń zarejestrowanych w podtorzu kolejowym dla schematu badawczego nr 1 z sześcioma czujnikami zlokalizowanymi w osi podkładów w odległości 3 metrów od osi toru.

Przykładową analizę akcelerogramów przeprowadzono dla prędkości  $V_1=50$  km/h.

W odniesieniu do analizowanego akcelerogramu wartość szczytowa przyspieszeń drgań dla nawierzchni zbudowanej z podkładów strunobetonowych typu PS 94 wynosi 3.110 m/s<sup>2</sup>, a wartość średnia przyspieszeń wynosi 1.220 m/s<sup>2</sup>.



11. Przebieg czasowy przyspieszeń składowych drgań podtorza w wyniku przejazdu pociągu z prędkością  $V_1=50$  km/h, krzywa niebieska- podkłady typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa zielona- podkłady typu PS 94



12. Przebieg czasowy przyspieszeń składowych drgań podtorza w wyniku przejazdu pociągu z prędkością  $V_1=105$  km/h, krzywa niebieska- podkłady typu PS 94 z izolacją CDM UPS-I-10B, krzywa zielona- podkłady typu PS 94.

Widoczna jest znaczna redukcja drgań zarejestrowanych w podtorzu kolejowym przy nawierzchni zbudowanej z podkładów strunobetonowych PS 94 z wibroizolacją typu CDM UPS-I-10B. Wartość szczytowa przyspieszeń drgań wynosi  $1.050 \text{ m/s}^2$ , a wartość średnia  $0.530 \text{ m/s}^2$ .

Wyznaczono wskaźnik skuteczności zastosowanej izolacji antywibracyjnej  $W_1$  obrazujący iloraz wartości średnich zarejestrowanych przyspieszeń przekazywanych przez nawierzchnię z podkładami bez izolacji antywibracyjnej i dla podkładów z izolacją antywibracyjną.

## **Wskaźnik skuteczności stosowania izolacji antywibracyjnej dla prędkości 50 km/h wynosi $W_1 = 2,3$**

Następnie analizie poddano wartości średnie zarejestrowane na stanowisku badawczym nr 2. Rejestracji przyspieszeń dokonano przy wykorzystaniu trzech czujników piezoelektrycznych w osi co drugiego podkładu w odległości 3 metrów od osi toru. Badanie przeprowadzono równocześnie na odcinku badawczym o podkładach strunobetonowych i strunobetonowych z izolacją antywibracyjną.

Przykładową analizie akcelerogramów przeprowadzono dla prędkości  $V_1 = 105 \text{ km/h}$ .

W odniesieniu do analizowanego akcelerogramu wartość szczytowa przyspieszeń drgań dla nawierzchni zbudowanej z podkładów strunobetonowych typu PS 94 wynosi  $2.050 \text{ m/s}^2$ , wartość średnia przyspieszeń wynosi  $0.850 \text{ m/s}^2$ .

Widoczna jest znaczna redukcja drgań zarejestrowanych w podtorzu kolejowym przy nawierzchni zbudowanej z podkładów strunobetonowych PS 94 z wibroizolacją typu PS 94 CDM UPS-I-10B. Wartość szczytowa przyspieszeń drgań wynosi  $0,840 \text{ m/s}^2$ , a wartość średnia przyspieszenie  $0.550 \text{ m/s}^2$ .

Wyznaczono wskaźnik skuteczności zastosowanej izolacji antywibracyjnej  $W_2$  dla wartości średnich zarejestrowanych przyspieszeń przekazywanych przez nawierzchnię z podkładami bez izolacji antywibracyjnej i dla podkładów z izolacją antywibracyjną.

## **Wskaźnik skuteczności wibroizolacji wynosi dla 105 km/h wynosi $W^2 = 1,5$**

## **Ocena wpływu wibroizolacji w podkładach kolejowych na propagację drgań podtorza kolejowym**

Na poziom skuteczności izolacji antywibracyjnej zastosowanej na spodniej powierzchni podkładu strunobetonowego wpływa prędkość prowadzonego ruchu kolejowego.

Analizie poddano dwie prędkości przejazdu pociągu 50 km/ i 105 km/h. Dobór analizowanych prędkości przejazdowych ma na celu określenie skuteczności izolacji antywibracyjnej.

Dla prędkości jazdy pociągu 50 km/h maksymalne i średnie wartości przyspieszeń zarejestrowanych na poziomie podtorza kolejowego dla nawierzchni zbudowanej z podkładów strunobetonowych typu PS 94 są dwa razy większe niż dla nawierzchni z podkładów strunobetonowych z wibroizolacją typu PS 94 CDM UPS-I-10B. Wskaźnik skuteczności zmniejszenia propagacji drgań w podtorzu wynosi 2,3.

Dla prędkości jazdy pociągu 105 km/h maksymalne przyspieszenia zarejestrowane na poziomie podtorza kolejowego dla nawierzchni zbudowanej z podkładów strunobetonowych typu PS 94 generowane przez pojedynczą oś pojazdu są 70 % większe od wartości średniej przyspieszeń.

W porównaniu do nawierzchni z podkładami strunobetonowymi z wibroizolacją typu PS 94 CDM UPS-I-10B maksymalne przyspieszenie generowane przez pojedynczą oś pojazdu jest 25% większe od wartości średniej przyspieszeń. Wskaźnik skuteczności zmniejszenia propagacji drgań w podtorzu wynosi 1,5.

Im wyższy opracowany wskaźnik skuteczności stosowania izolacji antywibracyjnej tym mniejsze oddziaływanie dynamiczne nawierzchni kolejowej na podtorze kolejowe. Zmniejszenie propagacji drgań w podtorzu w wyniku zastosowania izolacji antywibracyjnej w podkładach ma celu wydłużenie okresów międzynaprawczych linii kolejowych, zmniejszając koszty prowadzonych prac utrzymaniowych. [3]

W dalszym etapie pracy badawczej nad skutecznością izolacji antywibracyjnej zostaną poddane analizie odcinki badawcze z różnymi typami izolacji antywibracyjnej w celu porównania parametrów technicznych izolacji antywibracyjnej stosowanej w podkładach strunobetonowych. Badania większej gamy materiałów pozwoli na skuteczny dobór typu materiału do prowadzonego ruchu kolejowego w celu redukcji oddziaływań dynamicznych i wydłużenia trwałości toru [4]. ◀

## **Materiały źródłowe**

- [1] Kwiatkowska E. Innowacyjne badania podtorza kolejowego, Technika transportu szynowego 4/2013,
- [2] Wójcicki Z., Grosel J., Sawicki W., Eksperymentalne badania dynamiczne budowl, DWe Wrocław, 2014,
- [3] Krużyński M., Kwiatkowska E., Zwolski J. Badania dynamiczne toru kolejowego, Przegląd komunikacyjny 11/2012,
- [4] Kawecki J., Stypuła K. Zapewnienie komfortu wibracyjnego ludziom w budynkach narażonych na oddziaływania komunikacyjne, Politechnika Krakowska, Kraków 2013.