

# Wpływ zastosowania wibroizolatorów sprężynowych w konstrukcji nawierzchni torowej na tłumienie drgań od torowiska

## Influence of the use of spring vibration isolators in the construction of track pavement for damping vibrations from the track



**Ewelina Kwiatkowska**

Dr inż. / prawnik

Politechnika Wroclawska, Katedra Mostów i Kolei

kwiatkowskae@interia.pl



**Wiesław Fiebig**

Dr hab.inż.

Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczny

Wieslaw.fiebig@pwr.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono zestrojone układy tłumiące drgania stosowane na liniach kolejowych i tramwajowych. Opisane rozwiązanie oparte na systemach sprężyn masowych jest skuteczne zwłaszcza przy niższych częstotliwościach. Częstotliwość strojenia takich systemów mieści się w zakresie od 5 do 8 Hz. Dzięki środkom opartym na elementach sprężynowych opracowanych przez firmę GERB można uzyskać znaczną redukcję drgań i hałasu dla nawierzchni kolejowych i tramwajowych. Ta nowa technologia może być wykorzystywana w Polsce podczas modernizacji konstrukcji torowiska, a także w nowych projektach, w których wymagana jest izolacja drgań podłoża torowego.

**Słowa kluczowe:** Sprężynowe wibroizolacje; Drgania w konstrukcji toru

**Abstract:** The paper presents tuned track bed vibration isolation systems used for the railway and tramway lines. The presented solution based on mass spring systems and is effective especially at lower frequencies. The tuning frequency of such systems is mostly in the range 5 to 8 Hz. With measures based on spring elements elaborated by GERB company the significant vibration and noise reduction coming from the railways and tramways can be achieved. This new technology in Poland can be used during the track structure modernization as well as in the new projects, in which the track bed vibration isolation is required.

**Keywords:** Spring vibration isolators; Damping of track pavement

Droga szynowa zlokalizowana w obszarach zurbanizowanych wymaga zastosowania ochrony antywibracyjnej w konstrukcji nawierzchni kolejowej. Na polskim rynku kolejowym stosowane są nawierzchnie podsypkowe i bezpodsypkowe. W celu redukcji wibracji w nawierzchni podsypkowej stosowane są maty antywibracyjne. W nawierzchniach bezpodsypkowych w celu redukcji drgań odtorowych stosuje się wibroizolację pod płytą betonową, pod podporą blokową przy zastosowaniu mocowania szyn za pomocą podpór blokowych, w nawierzchni bezpodsypkowej z szyną w otulinie, masa zalewowa szyny stanowi materiał wibroizolacyjny.

Niniejszy artykuł poświęcony jest niestosowanym dotychczas w Polsce rozwiązaniu konstrukcyjnym nawierzchni torowisk jakim jest nawierzchnia szynowa, która wyposażona jest w wibroizolatory sprężynowe. Nawierzchnia z wibroizolacją sprężyno-

wą stosowana jest od 30 lat w krajach europejskich i azjatyckich. W artykule przedstawiono różne typy wibroizolatorów sprężynowych stosowanych w nawierzchni podsypkowej i bezpodsypkowej oraz wyniki badań wpływu zastosowania wibroizolacji sprężynowej w nawierzchni bezpodsypkowej na tłumienie drgań odtorowych.

### Zasada wibroizolacji

Zasada działania wibroizolacji jest przedstawiona poglądowo na rys. 1. Przenoszenie drgań jest zależne od stosunku częstotliwości siły wymuszającej do częstotliwości rezonansowej.

Na rys. 1 przedstawiono przebiegi funkcji przenoszenia drgań przy dwóch różnych sztywnościach podłoża  $k_1$  i  $k_2$  ( $k_2 > k_1$ ). Częstotliwości rezonansowe  $f_1$  i  $f_2$  odpowiadają tym dwu rodzajom podłoża. Jeśli układ wibroizolacji ma wyższą sztywność to ma on przy tej samej masie wyższą częstotli-

wość rezonansową. Dla układu wibroizolacji o częstotliwości rezonansowej  $f_1$  zakres tzw. wibroizolacji skutecznej ( $> 87\%$ ) występuje przy częstotliwościach 3 razy wyższych od częstotliwości rezonansowej  $f_1$ . Skuteczność wibroizolacji układu o wyższej częstotliwości rezonansowej jest zdecydowanie niższa zwłaszcza w zakresie niskich częstotliwości. Im niższa częstotliwość rezonansowa tym wyższa skuteczność układu wibroizolacji. W przypadku wibroizolacji sprężynowej można uzyskać częstotliwości rezonansowe rzędu od 5 do 6 Hz co jest nie do osiągnięcia przy pomocy rozwiązań na bazie mat wibroizolacyjnych.

### Wibroizolatory sprężynowe w nawierzchni bezpodsypkowej

Nawierzchnia kolejowa typu podsypkowego i bezpodsypkowego może być wyposażona w wibroizolację w postaci układu sprężyn zamontowanych

pod konstrukcją płyty betonowej lub koryta betonowego. Obecnie wibroizolatory sprężynowe stosowane są na liniach kolejowych, tramwajowych i w metrach w celu redukcji drgań generowanych przez pociąg i przenoszonych na budynki w sąsiedztwie drogi szynowej.

Wyróżniamy trzy typy wibroizolatorów, które ze względu na ilość sprężyn dzielimy na jednosprężynowe typu GSI, jednosprężynowe typu EBS, dwu- lub trójsprężynowe typu KY rys. 2

Sztywność sprężyn wibroizolatorów może być indywidualnie dobrana w kierunku pionowym i poziomym. Zmiana sztywności wibroizolatorów daje zatem możliwość projektowania i wykonywania wibroizolacji dostosowanej do potrzeb realizowanej inwestycji.

Jednosprężynowe wibroizolatory GSI firmy GERB rys. 3 występują w wariantach sztywności w kierunku:

- pionowym w zakresie: 5,42-4,52 kN/mm,
- poziomym w zakresie 6,92-3,46 kN/mm.

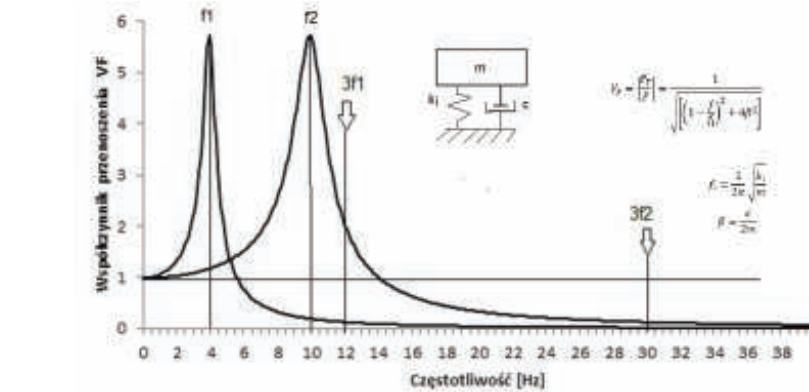
Dwusprężynowe wibroizolatory KY rys. 4 oferowane są o współczynniku sprężystości w kierunku:

- pionowym w zakresie 10,84-13,26 kN/mm,
- poziomym w zakresie 13,83-9,86 kN/mm.

Trójsprężynowe wibroizolatory KY rys. 4 oferowane są o współczynnik sprężystości w kierunku:

- pionowym w zakresie 16,26-19,88 kN/mm,
- poziomym w zakresie 26,76-14,79 kN/mm.

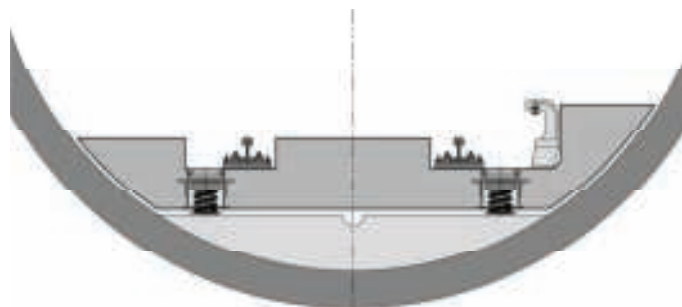
Sprężynowe tłumiki drgań mogą być stosowane w nawierzchni typu bezpodsypkowego rys. 4 oraz pod korytem betonowym w konstrukcji nawierzchni podsypkowej rys. 5. Szeroki wachlarz możliwości doboru sztywności sprężyn daje możliwość precyzyjnego wykonywania wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni torowych. Sprężyna wibroizolatora montowana jest w otworach pozostawionych w płycie żelbetowej konstrukcji nawierzchni szynowej rys. 6. Budowa wibroizolatora sprężynowego GSI stosowanego w konstrukcji torowisk przedstawiona została w przekroju na rys. 7. Zastosowana wibroizolacja w postaci tłumików sprężynowych



1. Zasada działania wibroizolacji



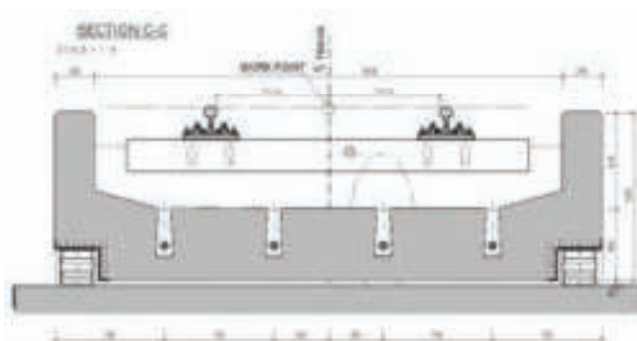
2. Typy sprężyn od lewej: EBS, GSI, KY



3. Wibroizolatory GSI w bezpodsypkowej nawierzchni szynowej (GERB)



4. Wibroizolatory KY w bezpodsypkowej nawierzchni szynowej (GERB)



5. Wibroizolatory KY w podsypkowej nawierzchni szynowej (GERB)

daje możliwość kompensacji (redukcja wibracji) przemieszczeń wynikających z nierównego osiadania gruntu, co jest szczególnie istotne w niekorzystnych warunkach geologicznych oraz w obszarach szkód górniczych.

## Badania terenowe na przykładzie linii metra

Konstrukcje torowe z wibroizolacją sprężynową stosowane są na torowiskach tramwajowych, kolejowych oraz

w liniach metra. W celu oceny wpływu ich zastosowania w konstrukcji torowej przeprowadzono wiele badań eksploatacyjnych.

Poniżej zostały zaprezentowane wyniki badań przeprowadzonych na linii metra w Szanghaju [2]. Badania zostały przeprowadzone na linii metra nr 10 otwartej w 2010 r., na której zastosowano system wibroizolacji sprężynowej GERB Floating Slab Track (FST). Na rys. 8 przedstawiono schemat linii metra w Szanghaju wraz z zaznaczeniem lokalizacji stanowiska badawczego.

Prowadzone badania zostały wykonane na dwóch odcinkach linii metra nr 10, pierwszy odcinek torowy został zlokalizowany na klasycznej nawierzchni bezpodsypkowej z mocowaniem szyn na podporach blokowych (rys. 9), drugi odcinek pomiarowy zlokalizowano na torze wyposażonym w wibroizolatory sprężynowe rys. 10.

Odległość między odcinkami badawczymi wynosiła 90 m, co dało możliwość równoczesnego pomiaru wibracji generowanych przez przejeżdżający pociąg. Badania miały charakter porównywalny i miały na celu ocenę wpływu zastosowania wibroizolacji sprężynowej na redukcję wibracji generowanych przez przejeżdżający pociąg i przenoszonych na nawierzchnię i ściany tunelu metra. Czujniki pomiarowe rejestrujące wibracje zlokalizowano w czterech punktach oznaczonych: V2 – oś toru, R1 – na szynie, V1- przy tłumiku na płycie betonowej, H1- na ścianie tunelu. Lokalizacja czujników przedsta-

wiona jest na rys. 9 i rys. 10. Zamontowanie czujników na płycie betonowej przedstawiono na rys. 11.

Na rys. 12 przedstawiono przebiegi zarejestrowanych prędkości drgań na ścianach konstrukcji tunelu dla nawierzchni bezpodsypkowej wyposażonej w wibroizolatory typu GSI. Wyniki przedstawiono w funkcji czasu przejazdu pociągu z prędkością 75 km/h. Maksymalna zarejestrowana prędkość drgań na ścianie tunelu wynosiła 0,3 mm/s.

Na rys. 13 zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości drgań zarejestrowanych na ścianie tunelu przy przejeździe pociągu metra z prędkością 75 km/h dla klasycznej nawierzchni torowej typu bezpodsypkowego bez wibroizolacji sprężynowej. Maksymalna zarejestrowana amplituda prędkości drgań wynosiła 4,9 mm/s.

Dla przeprowadzonych serii badań opracowano poziom tłumienia drgań wyrażony w dB. Wyniki badań tłumienia drgań przedstawiono na rys. 14 dla dwóch badanych konstrukcji toru. Poziom tłumienia drgań zależy od zakresu generowanego obciążenia przez przejeżdżający pociąg. Prędkość pociągu na badanym odcinku linii metra wynosiła 75 km/h.

Zaprezentowane na rys. 14 wyniki badań wykazują redukcję drgań przy zastosowaniu tłumików sprężynowych w zakresie powyżej 10 Hz generowanego obciążenia. W wyniku zastosowania wibroizolacji sprężynowej w bezpodsypkowej nawierzchni torowej uzyskano redukcję drgań wynoszą-

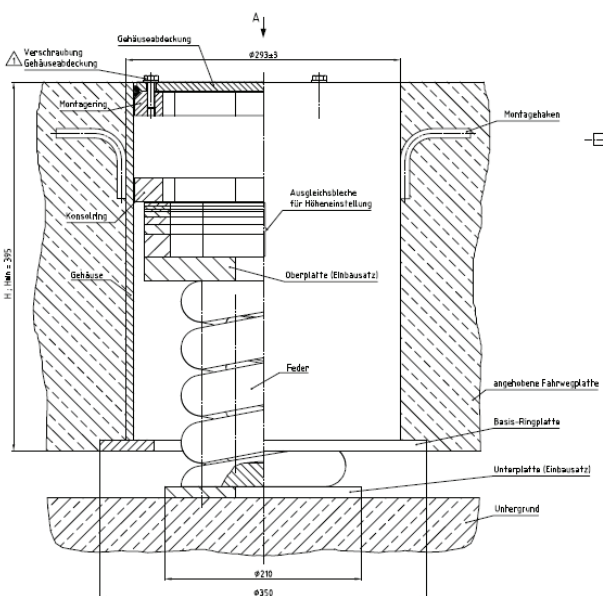


6. Kalibracja napięcia sprężyny w tłumiku typu GSI

cą maksymalnie 28 dB w porównaniu z nawierzchnią bez wibroizolatorów sprężynowych. Nawierzchnia z wibroizolacją sprężynową może znaleźć zastosowanie w konstrukcjach torowych w obszarach zurbanizowanych tj. w bliskim sąsiedztwie linii kolejowych od zabytkowej architektury oraz dla budynków, dla których wymagana jest dokładna ochrona ich konstrukcji przed wibracjami również w niskim zakresie częstotliwości.

## Podsumowanie

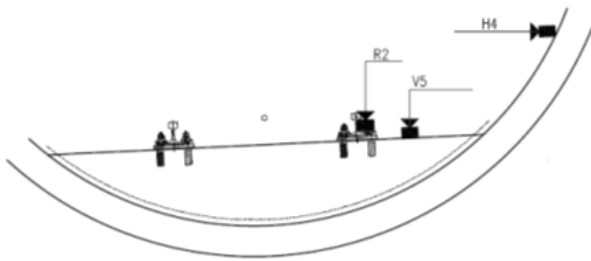
Przedstawione rozwiązania wibroizolacji sprężynowej torowisk mogą mieć zastosowanie wszędzie tam gdzie



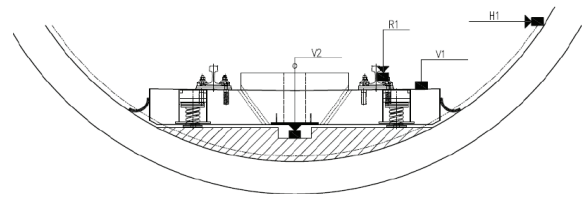
7. Budowa wibroizolatora typu GSI



8. Schemat metra w Szanghaju z zaznaczoną lokalizacją stanowiska badawczego na linii nr 10 (linia fioletowa)



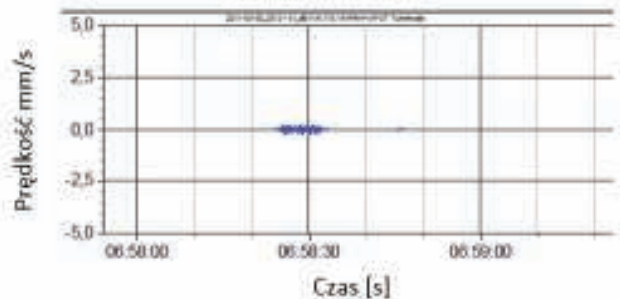
9. Schemat nawierzchni bezpodsypkowej bez sprężyn wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi V2, R1, V1, H1



10. Schemat nawierzchni bezpodsypkowej z wibroizolacją sprężynową wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi V2, R1, V1, H1



11. Lokalizacja czujników pomiarowych na płycie betonowej z systemem wibroizolacji sprężynowej na linii metra nr 10 w Szanghaju



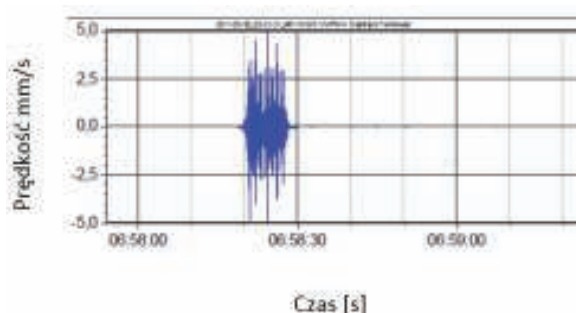
12. Przykładowe wyniki pomiaru prędkości rejestrowanego sygnału w funkcji czasu dla czujników zlokalizowanych na ścianach tunelu metra - nawierzchnia z tłumikami sprężynowymi

potrzebna jest wysoka skuteczność w eliminacji przenoszenia drgań od torowisk do budynków i obiektów inżynierskich. Są one często stosowane zwłaszcza na odcinkach torowisk w np. metrach, w liniach kolejowych i tramwajowych w bardzo niewaligicznych sytuacjach, gdzie odległości od budynków są bardzo niewielkie. Podana metoda wibroizolacji jest pewną alternatywą dla znanych metod wibroizolacji np. za pomocą mat tłumiących, a jej znaczenie rośnie w aspekcie powstawania linii kolejowych o prędkości powyżej 250 km/h i w obszarach zurbanizowanych na liniach tramwajowych i kolejowych. Wibroizolacja sprężynowa charakteryzuje się wysoką trwałością, łatwym i ekonomicznym montażem, wysoką skutecznością w zakresie niskich częstotliwości oraz możliwością regulacji np. w przypadku osiadania gruntu. ◀

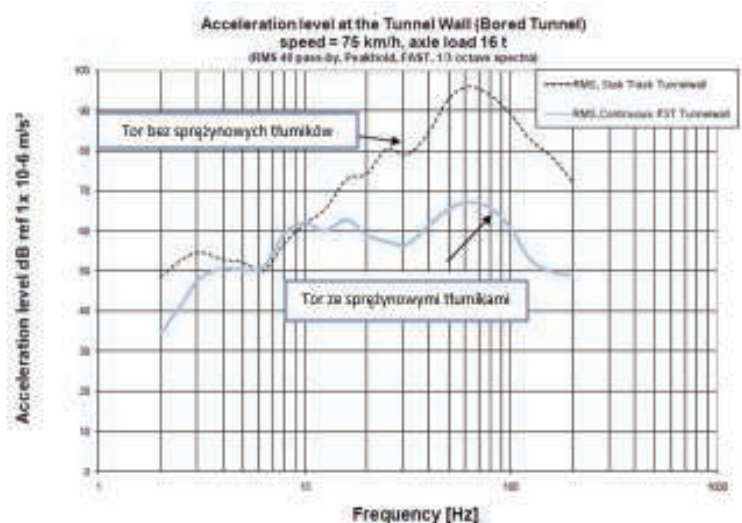
## Materiały źródłowe

- [1] Wagner, H.G.; Herrmann, A.: Floating Slab Track above ground for turnouts in tram lines, 2007, Noise and Vibration Mitigation for transportation systems
- [2] Wagner, H.G.: Attenuation of Vibrations and Ground Borne Noise by means of steel spring supported low-tuned floating track bed, 2002 World Metro Symposium, Taipei

- [3] Krużyński M., Kwiatkowska E., Zwolski J. Badania dynamiczne toru kolejowego. Przegląd Komunikacyjny 11/2012
- [4] Kwiatkowska E.. Parametry techniczne podkładek pod podkładami. Przegląd Komunikacyjny 9/2015
- [5] Stypuła K., Koziół K. Metro w Warszawie jako przykład uwzględnienia ochrony przed drganiami w procesie tworzenia infrastruktury transportu szynowego. Przegląd Komunikacyjny 4/2016.



13. Przykładowe wyniki pomiaru prędkości drgań w funkcji czasu dla czujników zlokalizowanych na ścianach tunelu metra - nawierzchnia bez tłumików sprężynowych



14. Zestawienie wartości poziomu drgań zarejestrowanych na ścianie tunelu w punkcie H1 dla nawierzchni tunelu z płytą betonową bez wibroizolatorów sprężynowych i nawierzchni tunelu z wibroizolatorami sprężynowymi