

Infraszyn 2017

Zakopane 26-28 kwiecień 2017 r

Dr inż. **Ewelina Kwiatkowska**, Politechnika Wrocławska Katedra Mostów i Kolei

Dr hab.inż. **Wiesław Fiebig**, Prof. PWr, Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny

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

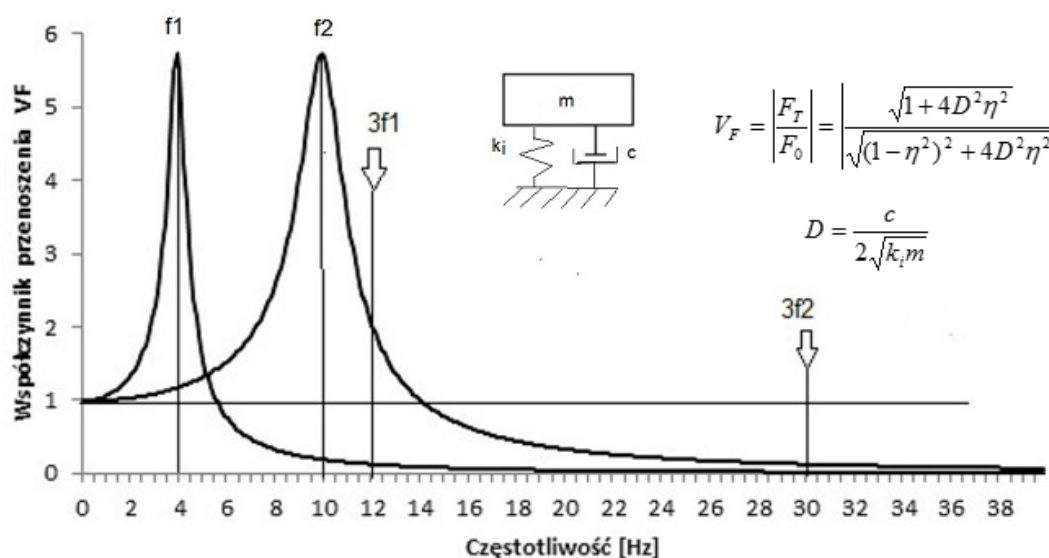
Wstęp

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 antywibacyjne. 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 referat poświęcony jest niestosowanemu dotychczas w Polsce rozwiązaniu konstrukcyjnym jakim nawierzchnia kolejowa, która wyposażona jest w wibroizolatory sprężynowe. Nawierzchnia z wibroizolacją sprężynową 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.

Zasada wibroizolacji

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



Rys. 1 Zasada wibroizolacji

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 dwóm rodzajom podłoża. Jeśli układ wibroizolacji ma wyższą sztywność to ma on przy tej samej masie wyższą częstotliwość 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 5, 6 Hz co jest nie do osiągnięcia przy pomocy rozwiązań na bazie mat wibroizolacyjnych.

Opis rozwiązania sprężyny tłumiącej 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.1.

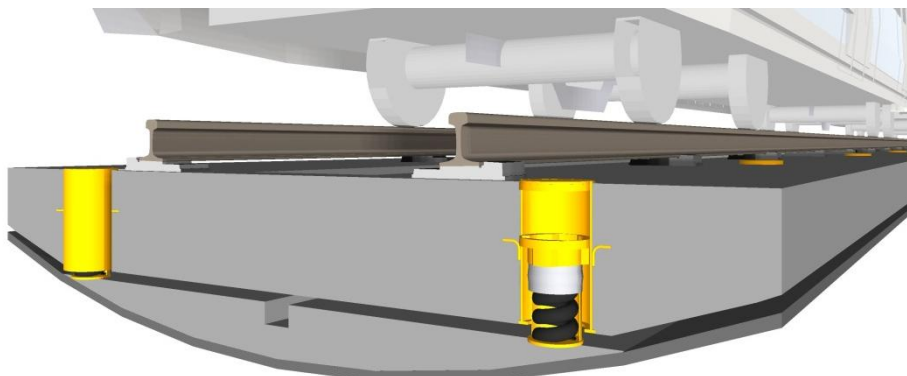


Rys. 1 Typy sprężyn od lewej: EBS, GSI, KY

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. 2 występują o sztywności w kierunku:

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



Rys. 2 Wibroizolatory GSI w bezpodsypkowej nawierzchni szynowej (GERB)

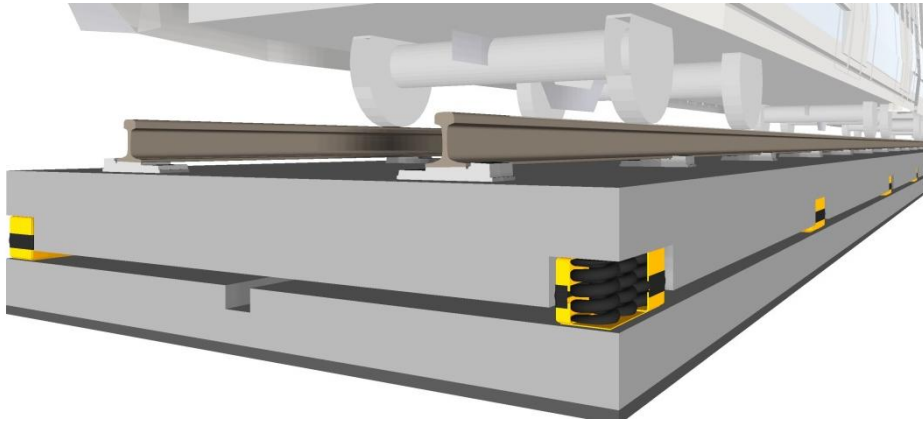
Dwusprężynowe wibroizolatory KY rys. 3 oferowane są o współczynniku sprężystości w kierunku:

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

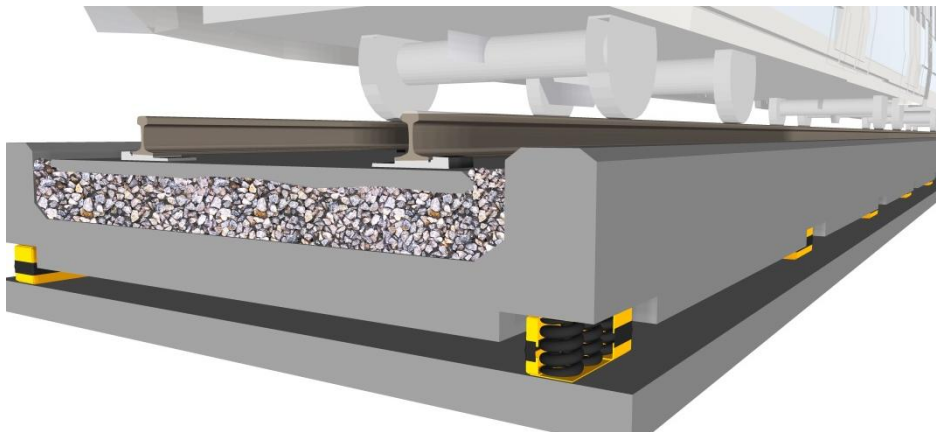
Trójsprężynowe wibroizolatory KY rys. 4 oferowane są o współczynnik sprężystości w kierunku:

- 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 bezpodsypkowej rys. 3, oraz pod korytem betonowym w konstrukcji nawierzchni podsypkowej rys. 4.

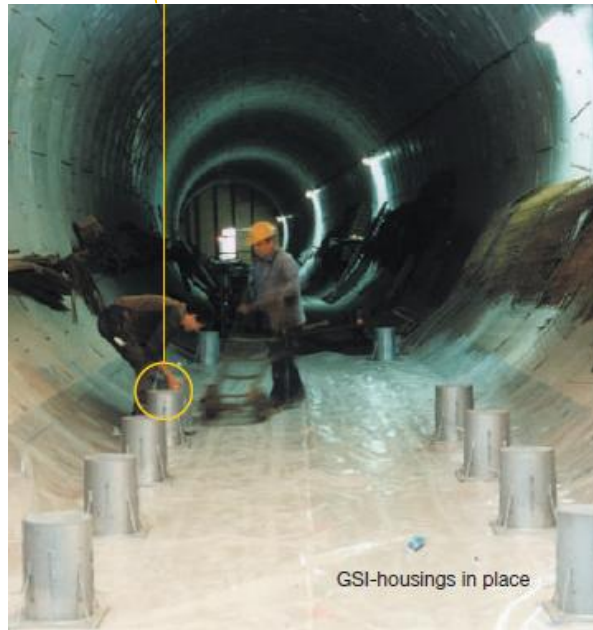
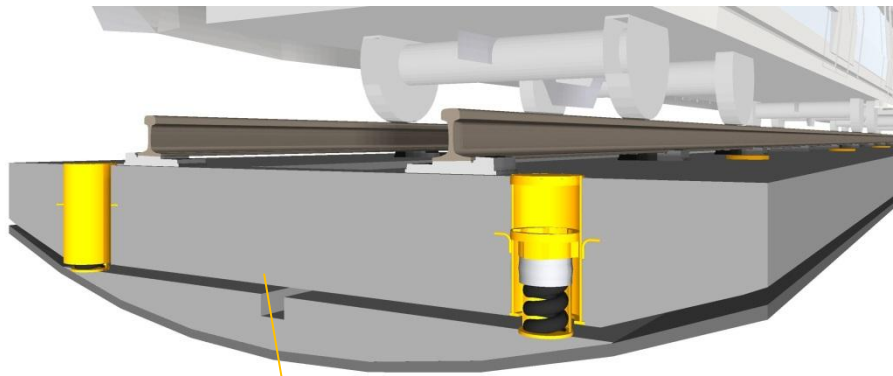


Rys. 3 Wibroizolatory KY w bezpodsypkowej nawierzchni szynowej (GERB)



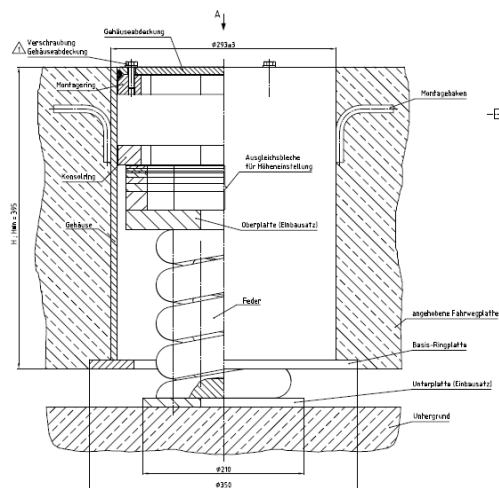
Rys. 4 Wibroizolatory KY w podsypkowej nawierzchni szynowej (GERB)

Szeroki wachlarz możliwości doboru sztywności sprężyn daje możliwość precyzyjnego wykonywania wibroizolacji w konstrukcji nawierzchni torowych. Sprężyna wibroizolatora jest montowana po wykonaniu płyty żelbetowej zapewniając rys. 5.



Rys. 5 Kalibracja napięcia sprężyny w tłumiku typu GSI

Budowa wibroizolatora sprężynowego GSI stosowanego w konstrukcji torowisk przedstawiona została w przekroju na rys. 6. Zastosowana wibroizolacja w postaci tłumików sprężynowych daje możliwość kompensacji przemieszczeń wynikających z nierównego osiadania gruntu, co jest szczególnie istotne w niekorzystnych warunkach geologicznych oraz w obszarach szkód górniczych.



Rys. 6 Budowa wibroizolatora typu GSI

Badania terenowe na przykładzie linii metra

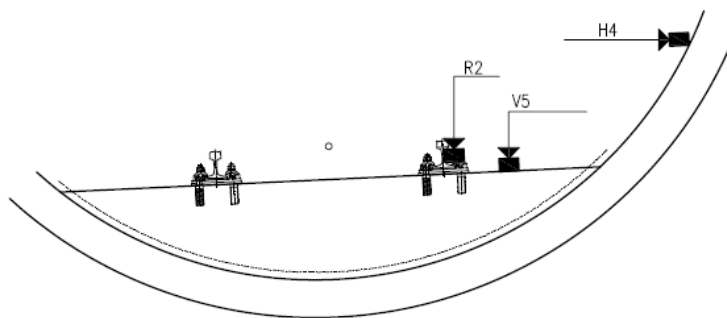
Konstrukcje torowe z wibroizolacją sprężynową stosowane są na torowiskach tramwajowych, kolejowych oraz w liniach metra. W celu oceny wpływu ich zastosowania w konstrukcji torowej przeprowadzono wiele badań eksploatacyjnych.

Poniżej zostały zaprezentowane wyniki badań przeprowadzonych na linii metra w Szanghaju. 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. 7 przedstawiono schemat linii metra w Szanghaju wraz z zaznaczeniem lokalizacji stanowiska badawczego.

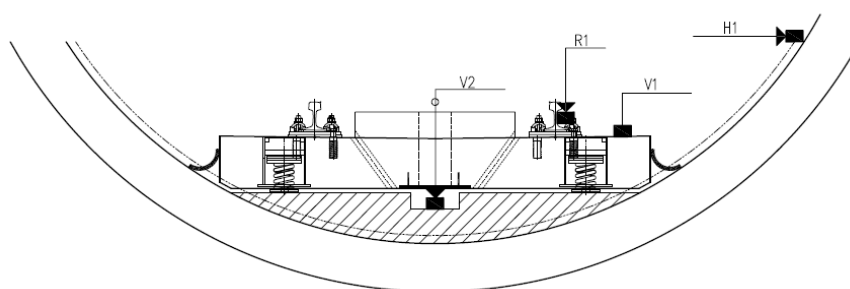


Rys. 7 Schemat metra w Szanghaju z zaznaczoną lokalizacją stanowiska badawczego na linii nr 10 (linia fioletowa)

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. 8, drugi odcinek pomiarowy zlokalizowano na torze wyposażonym w wibroizolatory sprężynowe rys. 9.



Rys. 8 Schemat nawierzchni bezpodsypkowej bez sprężyn wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi V2, R1, V1, H1



Rys. 9 Schemat nawierzchni bezpodsypkowej z wibroizolacją sprężynową wraz z zaznaczonymi punktami pomiarowymi V2, R1, V1, H1

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 przenoszonych przez przejeżdżający pociąg na nawierzchnię i ściany tunelu metra.

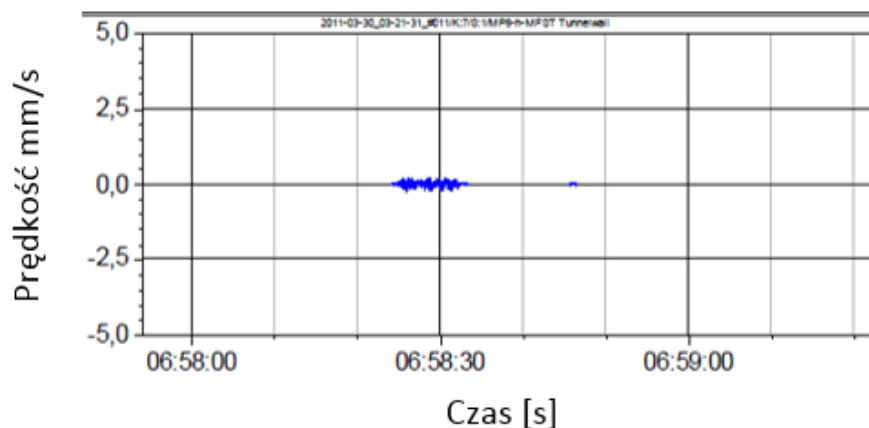
Stanowisko badawcze zlokalizowano na odcinku ze sprężynami pod płytą betonową i bez sprężyn. Czujniki pomiarowe rejestrujące wibracje zlokalizowano w czterech punktach oznaczonych: V2 – oś toru, R1 – na szynie, V1- przy tłumiku na płycie betonowej, H1- na ścianie tunelu. Lokalizacja czujników przedstawiona jest na rys 8 i rys. 9. Zamontowanie czujników na płycie betonowej przedstawiono na rys. 10.



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

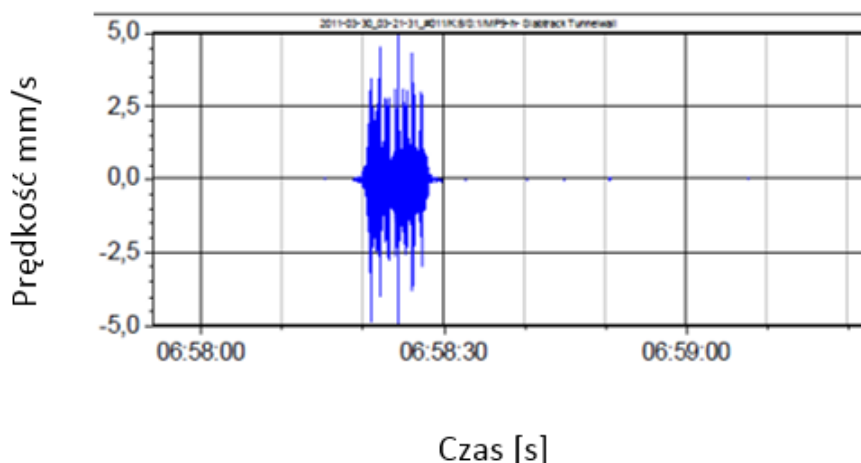
Badania swoim zakresem obejmowały analizę wpływu wibroizolacji sprężynowej na przenoszenie drgań generowanych przez pociągi metra na ściany tunelu.

Na rys. 11 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.



Rys. 11 Przykładowe wyniki pomiaru prędkości rejestrowanego sygnału w funkcji czasu dla czujników zlokalizowanych na ścianach tunelu metra - nawierzchnia z tłumikami sprężynowymi

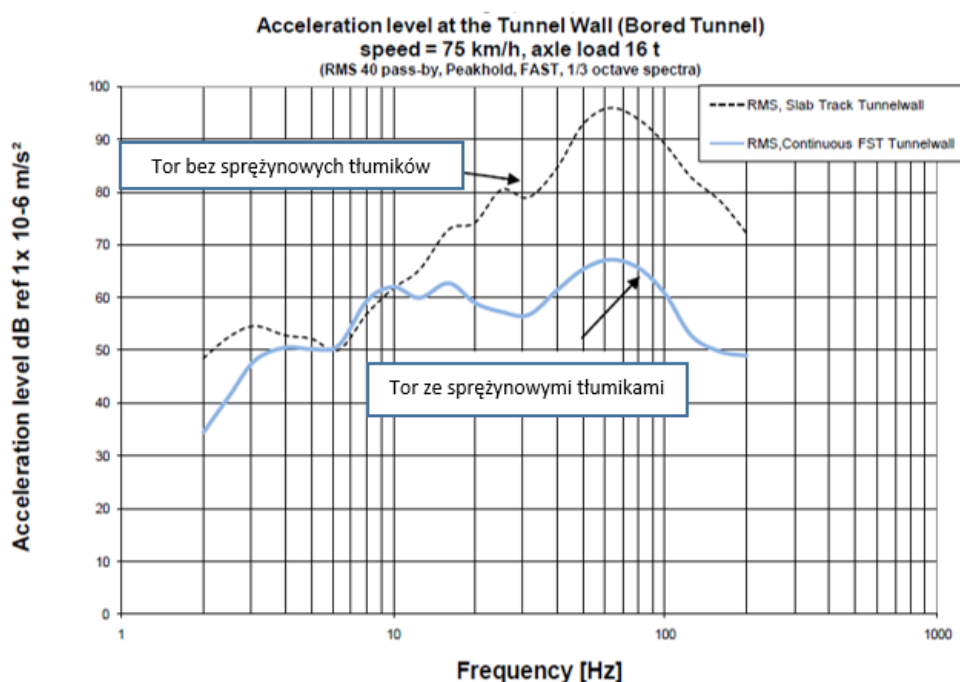
Na rys. 12 zaprezentowano wyniki pomiarów prędkości drgań zarejestrowanych na ścianie tunelu przy przejeździe pociągu metra z prędkością 75 km/h dla klasycznej nawierzchni torowej typu bezpodsypkowego bez wibroizolacji sprężynowej. Maksymalna zarejestrowana amplituda prędkości drgań wynosiła 4,9 mm/s.



Rys. 12 Przykładowe wyniki pomiaru prędkości drgań w funkcji czasu dla czujników zlokalizowanych na ścianach tunelu metra - nawierzchnia bez tłumików sprężynowych

Dla przeprowadzonych serii badań opracowano poziom tłumienia drgań wyrażony w dB. Wyniki badań tłumienia drgań przedstawiono na rys. 13 dla dwóch badanych konstrukcji toru. Poziom tłumienia drgań zależy od zakresu generowanego obciążenia dynamicznego przez przejeżdżający pociąg z prędkością 75 km/h i rozstawie podpór blokowych co 60 cm.

Zaprezentowane na rys. 13 wyniki badań wykazują zdecydowaną redukcję drgań przy zastosowaniu tłumików sprężynowych dla częstotliwości generowanego obciążenia powyżej 10 Hz. W wyniku zastosowania wibroizolacji sprężynowej w bezpodsypkowej nawierzchni torowej uzyskano redukcję drgań wynoszącą maksymalnie 28 dB w porównaniu z nawierzchnią bez wibroizolatorów sprężynowych.



Rys. 13 Zestawienie wartości poziomu drgań zarejestrowanych na ścianie tunelu w punkcie H1 dla nawierzchni tunelu z płyta betonową bez wibroizolatorów sprężynowych i nawierzchni tunelu z wibroizolatorami sprężynowymi

Nawierzchnia z wibroizolacją sprężynową może znaleźć zastosowanie w konstrukcjach torowych w obszarach zurbanizowanych, w szczególności w niewralgicznych sytuacjach 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 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 niewralgicznych sytuacjach, gdzie odległości od budynków są bardzo niewielkie. Podana metoda wibroizolacji jest pewną alternatywą dla znanych metod wibroizolacji np. przy pomocy mat tłumiących a jej znaczenie rośnie w aspekcie powstawania szybkich linii kolejowych i tramwajowych oraz rozwoju komunikacji publicznej.

Wibroizolacja sprężynowa charakteryzuje się wysoką trwałością, łatwym i ekonomicznym montażem, wysoką skutecznością w zakresie niskich częstotliwości oraz możliwością regulacji np. w przypadku osiadania gruntu. Skuteczność wibroizolacji tego typu wynosi zazwyczaj 80-95%. Dzięki integracji elementów sprężynowych z płytą torowiska nie jest wymagana zmiana jego wysokości.

Na wymienione elementy wibroizolacji sprężynowej torowisk firmy GERB została opracowana w CNTK w 2009 roku Aprobata Techniczna AT/09-2009-0205-00.

Literatura

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

Summary

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.