

# Ochrona torowiska w efekcie stosowania wibroizolacji podkładów kolejowych

Marek Krużyński, Ewelina Kwiatkowska

Opracowanie dotyczy jednego z rozwiązań technologicznych w nawierzchni kolejowej, które umożliwia zwiększenie odporności konstrukcji i podtorza na eksploatację ze zwiększonymi i dużymi prędkościami. Rozwiązaniem tym jest zastosowanie warstwy wibroizolacyjnej na powierzchni podstawy strunobetonowych podkładów kolejowych.

W pracy przeanalizowano zakres częstotliwości wzbudzenia układu pojazd-tor, wyniki badań skuteczności wibroizolacji na podstawie badań krajowych i zagranicznych oraz wyciągnięto wnioski rekomendujące stosowanie wibroizolacji podkładów w celu zmniejszenia prędkości deformacji nawierzchni, ograniczenia dynamicznych nacisków podkładów na podsypkę i podsypki na podtorze oraz wydłużenie okresów międzynaprawczych toru i podtorza.



Dr hab. inż.  
Marek Krużyński,  
prof. nadzw. Politechnika  
Wrocławska, Wydział  
Budownictwa Lądowego  
i Wodnego, Zakład  
Infrastruktury Transportu  
Szynowego



Mgr inż.  
Ewelina Kwiatkowska,  
Politechnika Wrocławska,  
Wydział Budownictwa  
Lądowego i Wodnego,  
Zakład Infrastruktury  
Transportu Szynowego

Ochrona torowiska kolejowego na liniach wysokich prędkości jest jednym z najważniejszych problemów. Planując budowę linii kolejowych o prędkościach powyżej 250 km/h należy zwrócić szczególną uwagę na przeciążenia dynamiczne jakim zostanie poddane podtorze kolejowe. Obciążenia dynamiczne wywołane przejazdem pociągów z dużą prędkością powodują przyspieszony wzrost deformacji pionowych i poziomych nawierzchni kolejowej i podtorza. Te ostatnie są szczególnie groźne ponieważ ich naprawa jest bardzo trudna i kosztowna.

Deformacje powstałe w wyniku przeciążeń powodują obniżenie parametrów technicznych torowiska i w konsekwencji wymuszają ograniczenia prędkości jazdy na liniach kolejowych. Badając układ pociąg-tor-podtorze należy pamiętać, że głównym generatorem drgań jest wzbudzenie kinematyczne przez nierówności toru i powierzchni tocznej szyny oraz bezwładnościowe pochodzące od ruchu

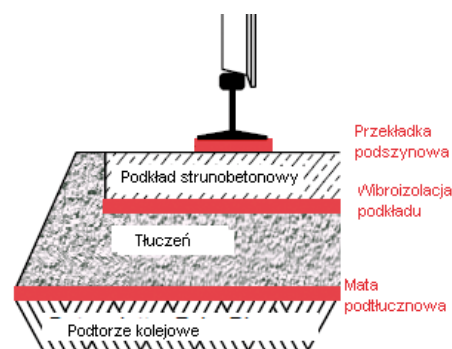
obrotowego niewyważonych mas. W efekcie prędkość jazdy i długość fali ma decydujący wpływ na częstotliwość drgań układu. Przy prędkościach powyżej 200 km/h układ może generować częstotliwości drgań powyżej 1000 Hz, co niekorzystnie wpływa na geometrię toru kolejowego i nośność podtorza.

Przeciążenia dynamiczne na liniach kolejowych wzrastają wraz z usztywnianiem nawierzchni kolejowej. Stosowanie strunobetonowych podkładów kolejowych zwiększa sztywność nawierzchni w porównaniu z nawierzchnią z podkładami drewnianymi. Podkłady strunobetonowe posiadają charakterystykę sprężysto-krucho i są znacznie twardsze niż podkłady drewniane o charakterystyce sprężysto-plastycznej. Podkłady drewniane efektywniej tłumią drgania przekazywane przez układ pojazd-tor-podtorze. Połączenie korzystnych właściwości podkładów strunobetonowych i drewnianych można osiągnąć przez zastosowanie na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych warstwy wibroizolacyjnej. Dzięki modyfikacji podkładów strunobetonowych i zastosowaniu izolacji antywibracyjnej można połączyć wytrzymałość i trwałość podkładów strunobetonowych z tłumiącymi właściwościami podkładów drewnianych.

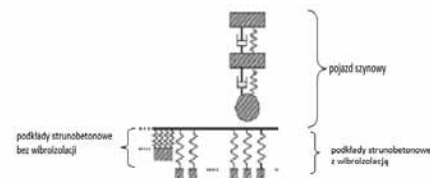
Podkłady strunobetonowe z warstwą izolacji antywibracyjnej (zwane dalej podkładami z wibroizolacją) powinny tworzyć konstrukcję o wysokiej wytrzymałości.

Warstwa izolacji antywibracyjnej powinna być sprężysto-plastyczna, zespolona w sposób trwały z dolną powierzchnią podkładu betonowego, odporna na oderwanie, rozrywanie i przebicie przez ziarna podsypki tłuczniowej.

Obecnie nawierzchnia kolejowa przystosowywana jest do eksploatacji z coraz większym obciążeniem i prędkością. Zwykle w konsekwencji tego procesu następuje jej usztywnienie. Następuje to poprzez zwiększenie gabarytów podkładów, ich masy, powierzchni styku z podsypką i powierzchni przekroju



1. Elastyczne elementy konstrukcji nawierzchni kolejowej [2]



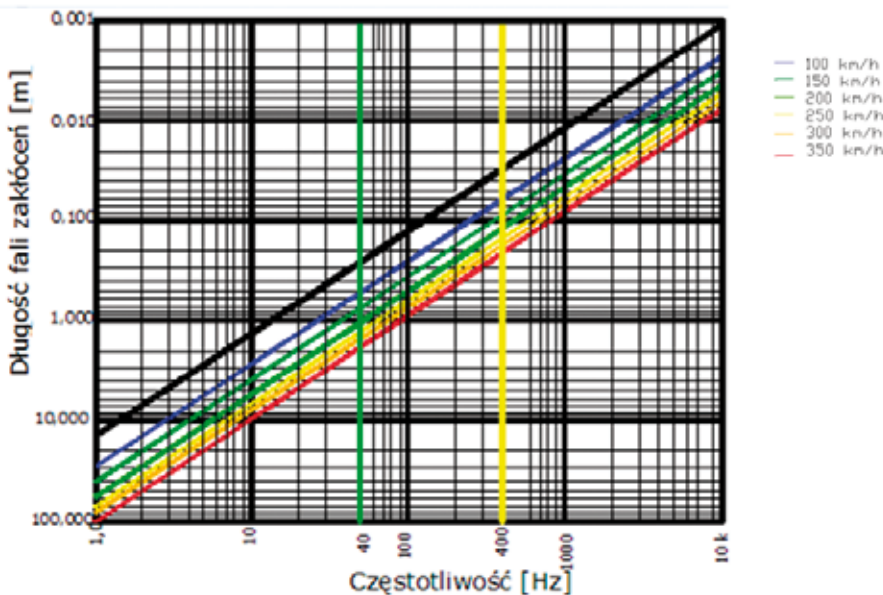
2. Model dynamicznej współpracy pojazdu z nawierzchnią kolejową z podkładami z wibroizolacją [2]

poprzecznego. Zwiększenie sztywności nawierzchni kolejowej powoduje bezpośrednio wzrost sił dynamicznych w styku kół z szynami, a w efekcie zwiększenie obciążeń dynamicznych podsypki i podtorza.

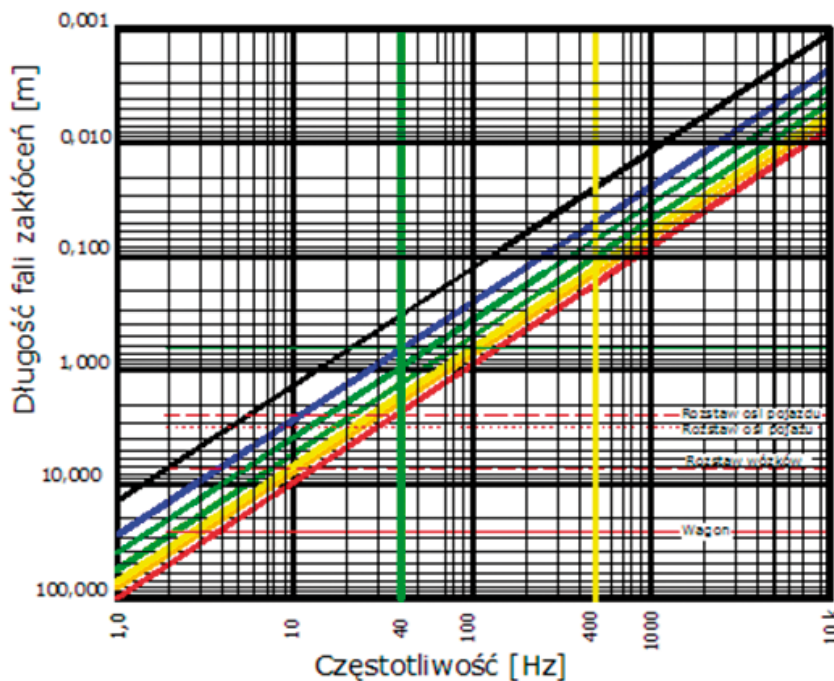
Modernizacja podkładów strunobetonowych przez zastosowanie wibroizolacji może złagodzić efekt usztywnienia. Poprzez stosowanie sprężysto-plastycznej warstwy wibroizolacji na powierzchni podstawy podkładów uzyskuje się zmniejszenie oddziaływań dynamicznych podkładów na podsypkę i podsypki na podtorze, a w efekcie ochronę podtorza przed przeciążeniami i nadmiernymi lokalnymi deformacjami. [7]

## Kontakt podkładu z podsypką tłuczniową

Ochronę torowiska kolejowego przed przeciążeniami występującymi na liniach kolejowych wysokich prędkości, można uzyskać przez



3. Zależność między prędkością jazdy pociągu, długością fali (lub rozstawem zestawów kołowych) i częstotliwością wzbudzenia [2]



- 2,5 m Rozstaw osi pojazdu
- 3,2 m Rozstaw osi pojazdu
- 7,5 m Rozstaw wózków
- 25,4 m Wagon
- 100 km/h
- 150 km/h
- 200 km/h
- 250 km/h
- 300 km/h
- 350 km/h

4. Zależność między prędkością jazdy, rozstawem sił obciążających tor (długością fali) i częstotliwością. Fale generowane przez wagon, wózek i pojazdy szynowe [2]

zastosowanie elementów elastycznych w nawierzchni kolejowej. Powszechnie stosowanym elementem elastycznym jest przekładka podszywna. Przekładka podszywna przy niewielkich wymiarach wywiera bardzo korzystny wpływ na dynamikę toru kolejowego i jest stosowana w każdym typie nawierzchni kolejowej. Kolejnym materiałem elastycznym stosowanym w celu ochrony podtorza przed

przeciążeniami dynamicznymi i statycznymi są maty podtłuczniowe.

Maty podtłuczniowe są skutecznymi wibroizolatorami drgań pionowych i poziomych, ale ze względu na wysokie koszty materiału stosowane są jedynie na odcinkach nawierzchni bezpodsynekowych i mostowych linii wysokich prędkości. Alternatywą dla kosztownych mat podtłuczniowych jest

zastosowanie wibroizolacji podkładów strunobetonowych. Podkłady z wibroizolacją to propozycja unowocześnienia nawierzchni kolejowej przy nieznacznym wzroście kosztów innowacyjnego produktu.

Modernizacji zostają poddane normowe podkłady strunobetonowe, które w etapie produkcji uzyskują na dolnej powierzchni warstwę materiału antywibracyjnego.

Kontakt podkładu strunobetonowego z podsypką przy zastosowaniu izolacji antywibracyjnej ulega zmianie. Następuje zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu z warstwą podsypki tłuczniowej poprzez sprężysto – plastyczne odciśnięcie ziaren tłucznia podsypki w warstwie wibroizolacji. Powierzchnia kontaktu podkładu z wibroizolacją z podsypką tłuczniową uzależniona jest od parametrów sprężysto- plastycznych warstwy izolacji antywibracyjnej. Możliwe jest uzyskanie nawet trzykrotnie większej powierzchni kontaktu niż przy podkładach bez wibroizolacji.

Zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu – tłuczeń zmniejsza naprężenia na styku podsypki tłuczniowej z podkładami.

Istotnym parametrem kontaktu podkładu z podsypką tłuczniową jest również opór na przemieszczenie poprzeczne. Podkłady z wibroizolacją wykazują większą powierzchnię kontaktu z warstwą podsypki tłuczniowej i większy opór na przemieszczenie poprzeczne.

Podkłady z wibroizolacją tłumią drgania wywołane krótkimi nierównościami powierzchni tocznej kół wagonów kolejowych i szyn, szczególnie uciążliwe przy prędkościach powyżej 160km/h, powodujące dokuczliwy szum. Zmniejszenie emisji hałasu korzystnie wpływa na komfort podróżujących pociągami i na otoczenie linii kolejowej.

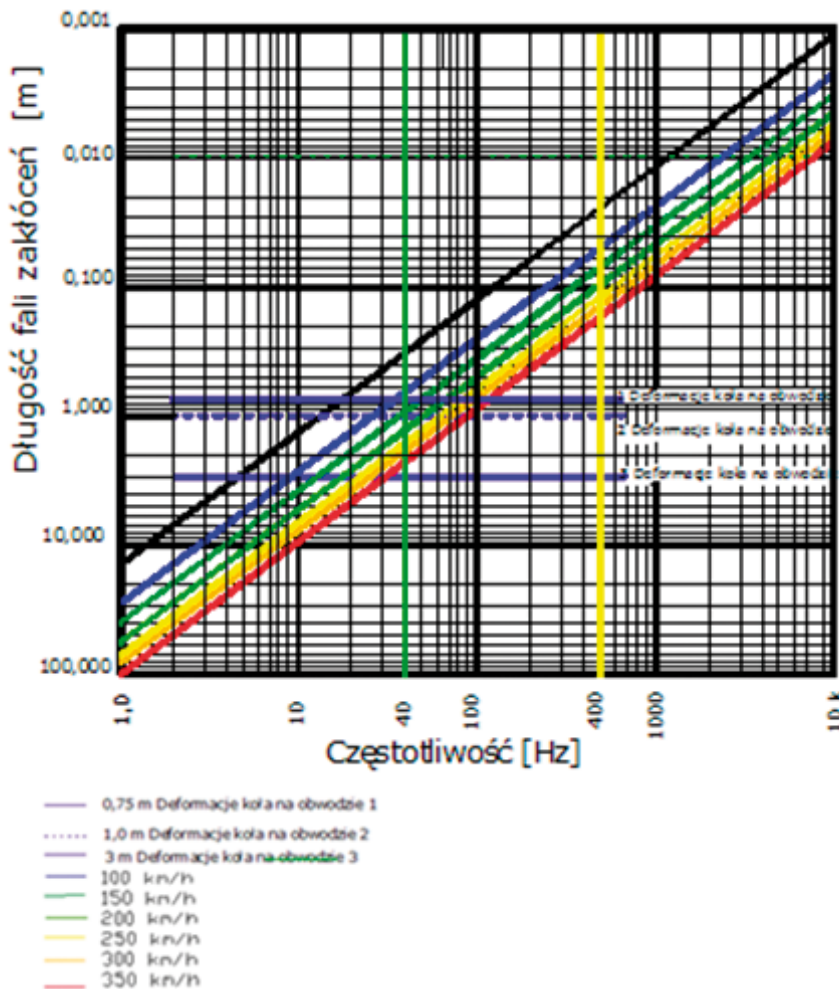
Zastosowanie materiału elastycznego w postaci wibroizolacji podkładów strunobetonowych zmienia model dynamicznej współpracy nawierzchni kolejowej.

## Źródła wzbudzenia drgań i zakresy częstotliwości

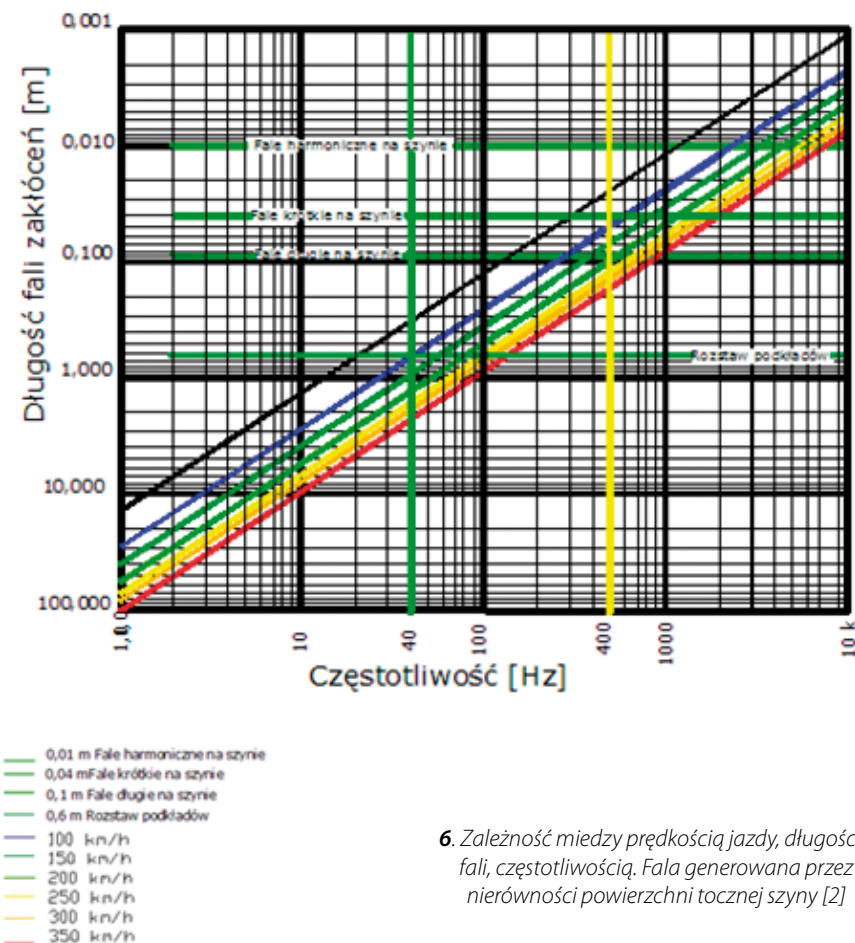
Podkłady z wibroizolacją są stosowane na niemieckich i austriackich liniach kolejowych wysokich prędkości ponieważ wibroizolacja nawierzchni kolejowej ma szczególne znaczenie przy eksploatacji z prędkością powyżej 250 km/h.

W zależności od prędkości jazdy pociągu o zróżnicowanym rozstawie osi po falistej powierzchni szyn o zmiennej długości fal generowane są w układzie pojazd - tor drgania o zmiennej częstotliwości. Wzbudzenie przejazdem pociągów drgania mogą mieć częstotliwości niskie z zakresu do 40 Hz, średnie z zakresu 40 - 400 Hz i wysokie z zakresu 400 - 10 000 Hz.

Na rysunku 3 przedstawiono ogólną zależność między prędkością jazdy pociągu, długością fali i częstotliwością. Do analizy przyjęto prędkości: 50km/h (czarna linia ukośna), 100km/h



5. Zależność między prędkością jazdy, długością fali, częstotliwością. Fala generowana przez nierówności na obwodzie koła pojazdu [2]



6. Zależność między prędkością jazdy, długością fali, częstotliwością. Fala generowana przez nierówności powierzchni tocznej szyny [2]

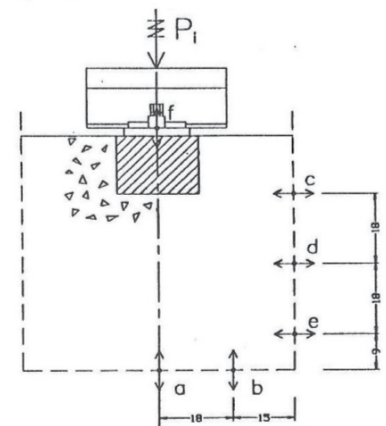
Tab.1. Porównanie przyspieszeń drgań torowiska „A” i sztywności podparcia podkładów „k” w zależności od badanego modelu [1]

Model nawierzchni	k[kN/mm]	Aa[mm/s <sup>2</sup> ]
bi	2,10	2,77
bj	4,58	3,51
d	4,91	3,92
b	5,39	4,65

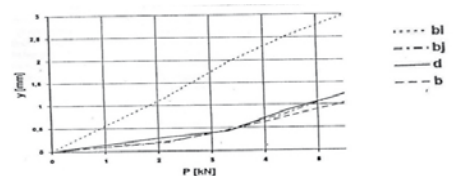
Tab.1. Porównanie przyspieszeń drgań torowiska „A” i sztywności podparcia podkładów „k” w zależności od badanego modelu [1]

Model nawierzchni	k[kN/mm]	$\frac{A_b - A_i}{A_b}$ [%]
bi	2,10	40
bj	4,58	25
d	4,91	15
b	5,39	-

$A_i$  - przyspieszenie drgań i-tego modelu nawierzchni,  
 $A_b$  - przyspieszenie drgań modelu z nawierzchnią betonową.



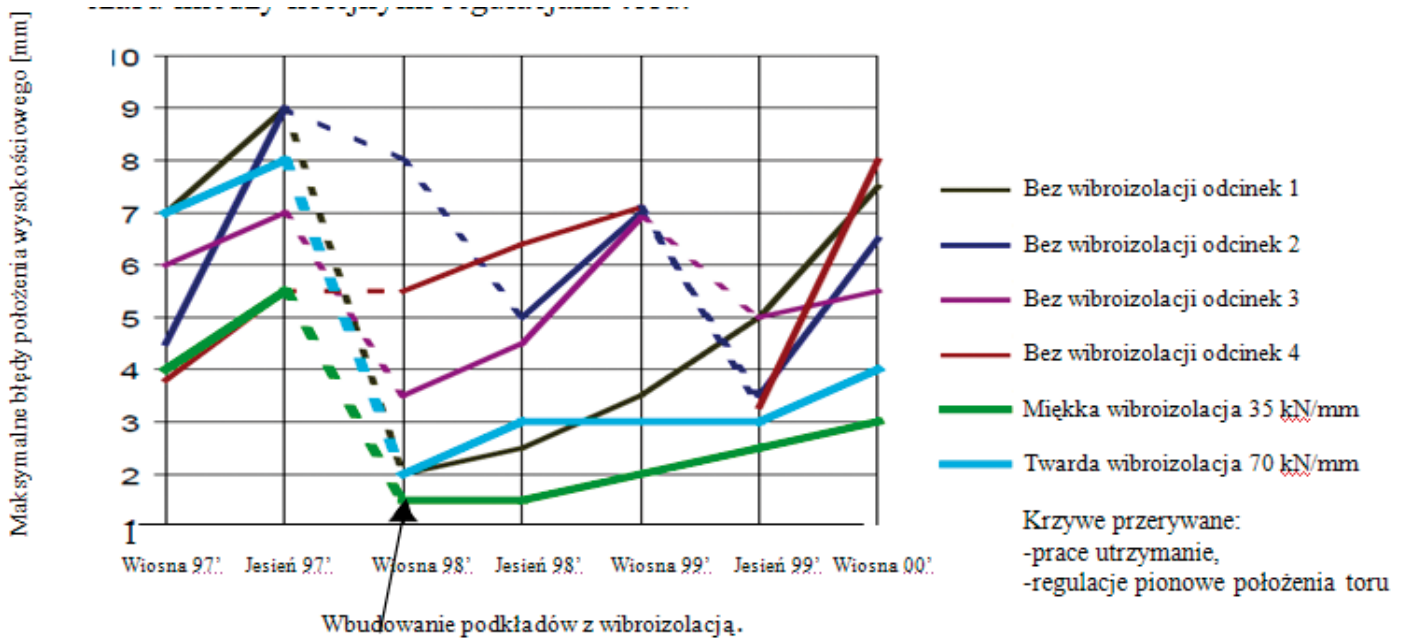
7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych: a, b, f- pomiar przemieszczeń i przyśpieszeń pionowych, c, d, e- pomiar przemieszczeń i przyśpieszeń poziomych [1]



8. Charakterystyki sprężystości podparcia szyn dla modeli :b, d, b, b<sub>i</sub> [1]

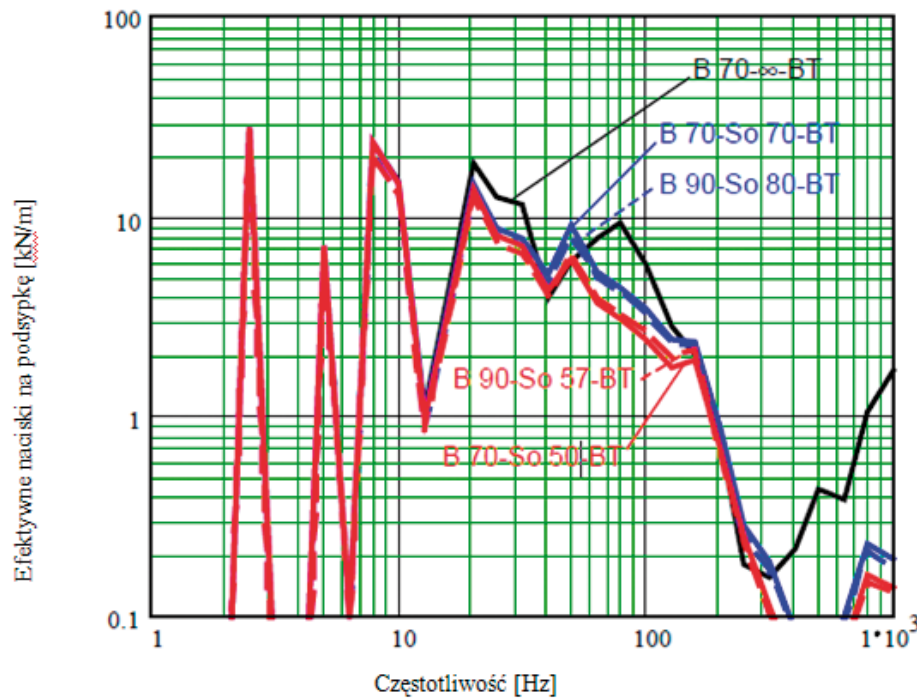
(niebieska linia ukośna), 150 km/h (ciemno zielona), 200km/h (jasno zielona), 250 km/h (żółta), 300km/h (pomarańczowa) i 350km/h (czerwona).

Generowane drgania przez jadący pociąg, mogą mieć różną częstotliwość, w zależności od źródła wzbudzenia. Na rysunku 4 przedstawiono cztery źródła fal generowanych przez jadący pociąg. Długość fali wynikająca ze zróżnicowanego rozstawu sił obciążających tor ulega zmianie ze względu na rodzaj badanego źródła. Analizie poddano pojazdy szynowe



Wbudowanie podkładów z wibroizolacją.

9. Krzywa przemieszczeń pionowych [4]



10. Obciążenia tłuczni na sztywnym podłożu dla podkładów z miękką wibroizolacją (czerwona krzywa), z twardą (niebieska) oraz podkładów bez wibroizolacji (czarna krzywa) [5]

o długości 26,4m, rozstawie wózków o długości 7,5 m i dwa pojazdy o rozstawie osi w wózkach 3,2m i 2,5 m.

Minimalna długość fali wynosząca 1,5m jest generowana przez pojazd o rozstawie osi 2,5m. Najniższe częstotliwości generuje wagon – 26,4m jednocześnie tworząc najdłuższą falę. Dla każdego z analizowanych źródeł fal najwyższe częstotliwości generuje pociąg jadący z prędkością 350 km/h.

Kolejnym badanym źródłem generującym drgania są nierówności na powierzchni toczonej koła (rysunek 5). Przyczyny istnienia nierówności na obwodzie koła mogą być różne.

Wyróżniamy wady fabryczne polegające na nieokrągłości kół i wady kształtu koła powstałe przy eksploatacji, takie jak nierównomierne zużycie na obwodzie i miejsca płaskie.

Zależności przedstawione na rysunku 5 dotyczą trzech rodzajów uszkodzeń kół, w postaci deformacji na obwodzie, występujących co: 0,75 m; 1,0m; 3,0m.

Nierówności na obwodzie występujące co 3 m wzbudzają drgania z niskimi częstotliwościami. Przy nierównościach co 0,75 m i 1m i prędkościach powyżej 200km/h wzbudzane są drgania o średniej częstotliwości. Najwyższą częstotliwość drgań w zakresie 100 Hz ge-

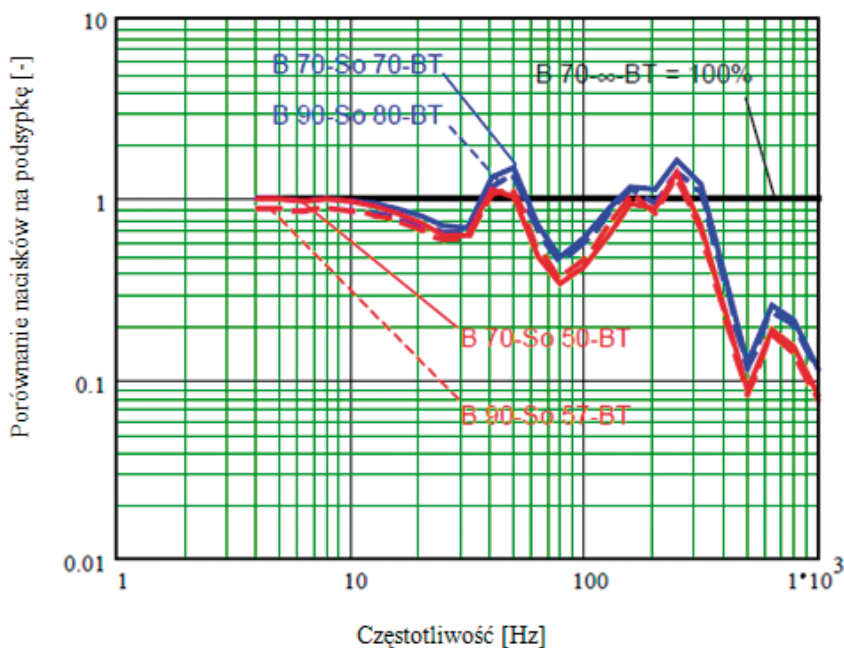
neruje przejazd pociągu z uszkodzeniem kół na obwodzie co 0,75m.

Dotychczas analizowane źródła, w zależności od prędkości jazdy pociągu, generują drgania w zakresie niskich i średnich częstotliwości. Na rysunku 6 przedstawiono efekty wzbudzenia drgań przez źródła generujące wysokie częstotliwości.

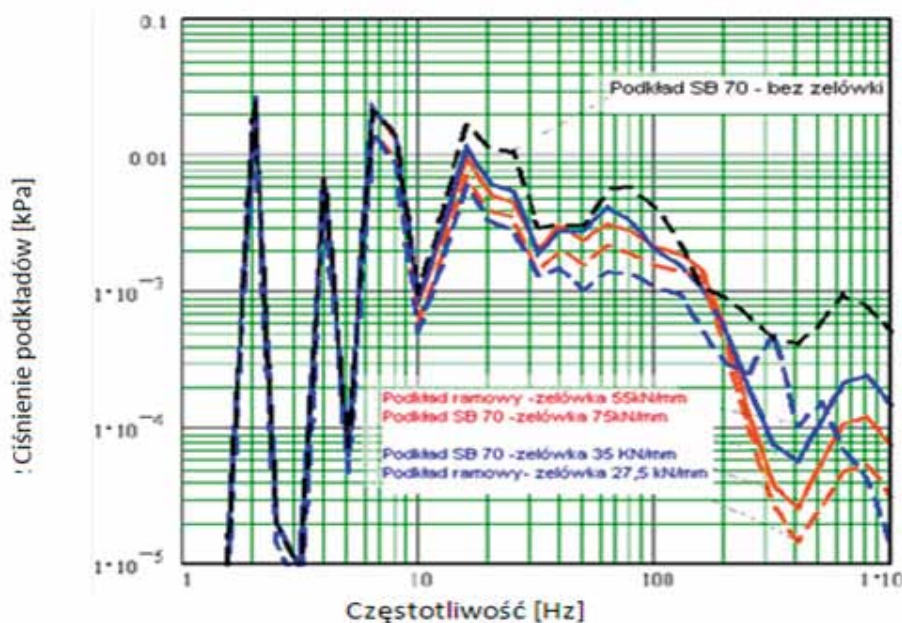
Analizowany przykład dotyczy wpływu nierówności powierzchni toczonej szyn na generowaną przejazdem pociągu częstotliwość wzbudzenia drgań. Uwzględniono szyny z nierównościami falistymi o trzech różnych długościach i dodatkowo rozstaw podkładów jako czwarte możliwe źródło wzbudzenia drgań. Nierówności faliste powierzchni toczonej szyny podzielono na trzy zakresy. Zakres fal długich, krótkich i tak zwaną falę górną harmoniczną.

Fale generujące drgania mają długość w przypadku nierówności falistych długich, równą 0,1m. Wzbudzone przez nie drgania mają częstotliwości z zakresu średniego przy prędkości poniżej 200km/h. Przez nierówności faliste krótkie, o długości fali 0,04 m generowane są drgania w zakresie wysokich częstotliwości dla prędkości powyżej 100km/h. Przy falistym zużyciu szyny o długości 0,01m, wzbudzone są drgania o wysokiej częstotliwości dla wszystkich badanych zakresów prędkości. Ugięcie faliste szyn, wynikające z długości przęsła między podporami, które stanowią podkłady, może generować drgania w zakresie niskich i średnich częstości od 20 do 140 Hz.

Z zaprezentowanej analizy wynika, że pociągi wysokich prędkości oraz fale o zmiennej długości generują drgania układu koło – szyna o niskich, średnich i wysokich częstotliwościach w paśmie od 4 Hz w przypadku wagonu dwuosowego (rys 4) do 10 kHz w przypadku bardzo krótkich nierówności powierzchni toczonej szyn.



11. Porównanie obciążeń podsypki [6]



12. Ciśnienie podkładów [kPa] na podsypkę podczas przejazdu pociągu z prędkością 200 km/h w zależności od częstotliwości drgań [2]

## Badania porównawcze obciążeń torowiska

W celu wykazania skuteczności stosowania wibroizolacji podkładów kolejowych przeprowadzono pomiary laboratoryjne czterech typów podkładów kolejowych. Analizie statycznej i dynamicznej poddano podkłady drewniane, betonowe, betonowe z wibroizolacją z gumy mikroporowatej i betonowe z wibroizolacją z folii PCV. W badaniach symulacyjno-modelowych z wykorzystaniem modelu fizycznego uzyskano wyniki potwierdzające skuteczność zastosowania wibroizolacji do podkładów betonowych. Stwierdzono zmniejszenie przemieszczeń i przyspieszeń drgań torowiska do 40% dla przyjętych modeli fizycznych kon-

strukcji nawierzchni kolejowej.

Badania miały na celu porównanie oddziaływań dynamicznych na torowisko przy podkładach drewnianych, betonowych oraz betonowych z wibroizolacją.

Stanowisko badawcze (rysunek 7) zbudowano z:

- szyny S49 o długości 30 cm przymocowanej do odcinka podkładu długości 45cm z przytwierdzeniem typu K, z przekładką z płyty pilśniowej grubości 5mm i podkładką PCV o grubości 3mm (przy podkładach betonowych),
- warstwy podsypki tłuczniowej zabudowanej w pojemniku o wymiarach 70x70x66cm, umożliwiającym wykonanie pomiarów

przemieszczeń i przyspieszeń drgań,

- warstwy wibroizolacyjnej między podkładem a podsypką,
- wzbudnika udarowego realizującego jednokrotny impuls siły przy pomocy spadającej masy  $m=1775g$  z zadanej wysokości  $h=165\text{ cm}$ ,
- odcinków podkładów kolejowych: podkład drewniany(d), podkład betonowy bez wibroizolacji (b); podkład betonowy z wibroizolacją z gumy mikroporowatej grubości 12mm na dolnej powierzchni podkładu(bi), podkład betonowy z wibroizolacją z folii PCV o grubości 0,7mm na powierzchni podkładu i na bokach(bj).

Badania statyczne obejmowały pomiary przemieszczeń przy obciążeniu każdego z modeli z podkładami typu: b, d, bi, bj siłą 5,5 kN. Badanie przeprowadzono w celu uzyskania parametru porównawczego reakcji modeli badawczych na wzbudzenie i charakterystyki sprężystości podparcia szyn.

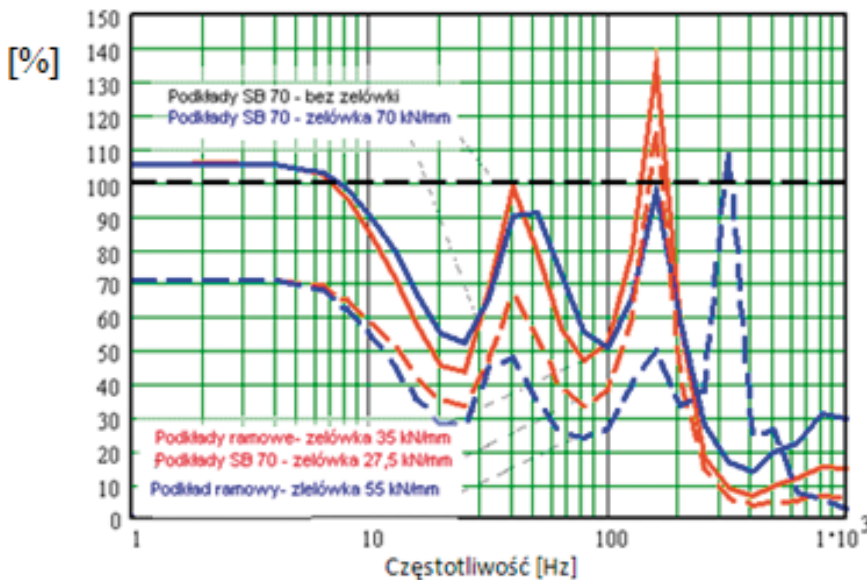
Wyniki pomiarów statycznych przedstawionych na rysunek 8 obrazującym charakterystyki sprężyste podparcia szyn. Najszywniejszą konstrukcją nawierzchni okazał się model skonstruowany z podkładu betonowego bez wibroizolacji. Najbardziej podatną nawierzchnię reprezentował podkład betonowy z wibroizolacją z mikrogumy.

Badania dynamiczne wykazały, że zastosowanie wibroizolacji podkładów betonowych wykonanej z folii PCV zbliża ich charakterystyki do charakterystyk dynamicznych podkładów drewnianych. Przy zastosowaniu wibroizolacji typu miękkiego z mikrogumy przy podkładach betonowych uzyskano redukcję przyspieszeń drgań nawet o 40% w porównaniu z podkładami betonowymi bez wibroizolacji (tab.1).

Badania dynamiczne przeprowadzono za pomocą wzbudnika udarowego realizującego jednokrotny impuls siły. Jako miarę sztywności wibroizolacji przyjęto współczynnik „k” obrazujący sztywność podparcia szyny, czyli stosunek przyłożonej siły statycznej do zmierzzonego przemieszczenia pionowego szyny. Przemieszczenie uzyskane przy podkładach betonowych z wibroizolacją jest znacznie większe niż przy podkładach betonowych bez wibroizolacji i nawet podkładów drewnianych, co świadczy o mniejszej sztywności nawierzchni z podkładami z wibroizolacją.

Badania dynamiczne miały na celu pomiar przyspieszeń drgań przekazywanych na podtorze przez podsypkę i ich redukcji dzięki wibroizolacji. Pomiary wykazały, że przyspieszenie drgań przekazywanych na podtorze przez podsypkę przy podkładach drewnianych jest mniejsze niż przy betonowych o 15%, a przy zastosowaniu wibroizolacji redukcja przyspieszeń drgań jest rzędu 25% i 40% (tab.2).

Wyniki pomiarów dynamicznych i statycznych wykazują skuteczność stosowania wibroizolacji podkładów betonowych w celu ochrony podtorza kolejowego przed nad-



13. Względne ciśnienie podkładów na podsypkę podczas przejazdu pociągu z prędkością 200 km/h w zależności od częstotliwości drgań odniesione do wyników dla nawierzchni bez wibroizolacji [2]

miernymi przemieszczeniami i przyspieszeniami. Z interpretacji wyników pomiarów wynika, że zastosowanie cienkiej warstwy izolacyjnej w podkładzie betonowym daje efekty porównywalne do efektów uzyskiwanych przy podkładach drewnianych.

Zastosowanie wibroizolacji poprawia warunki eksploatacji podsypki i podtorza ponieważ pod podkładami zmniejszają się maksymalne naprężenia dynamiczne w podsypce i na styku podsypki z torowiskiem, których działanie jest najbardziej destrukcyjne dla konstrukcji drogi kolejowej.

### Badania zagraniczne

Badania nad podkładami z wibroizolacją przeprowadzono na nowobudowanych liniach kolejowych w Niemczech i Austrii. Podkłady betonowe z wibroizolacją wbudowano na liniach wysokich prędkości o dopuszczalnej prędkości powyżej 250 km/h. Na badanych odcinkach wbudowano sześć różnego rodzaju nawierzchni kolejowych podsypkowych. Zastosowano dwa typy podkładów z wibroizolacją o sztywności 35 kN/mm i 70 kN/mm. [3]

Po dwóch latach eksploatacji przeprowadzono pomiary przemieszczeń pionowych występujących na badanych odcinkach (rysunek 9). Wyniki pomiarów dają jednoznaczną odpowiedź na pytanie o skuteczność stosowania wibroizolacji w podkładach. Na odcinku z podkładami z wibroizolacją stwierdzono prędkość przyrostu maksymalnych błędów położenia wysokościowego ok. 0,7 mm/rok, a dla podkładów bez wibroizolacji błędy położenia wysokościowego narastały między 2,5-4 mm/rok, czyli ponad trzy razy szybciej.

Wzrost prędkości osiadania przy pokładach z wibroizolacją jest o 25% mniejszy niż prędkości deformowania się toru podkładami bez wibroizolacji. Daje to pożądane wydłużenie

czasu między kolejnymi regulacjami toru.[4]

W Niemczech przeprowadzono pomiary również na odcinkach nowobudowanych linii kolejowych z trzema typami nawierzchni. Pierwszy badany odcinek zbudowano z podkładów typu B70 o sztywności wibroizolacji  $S_o=70\text{kN/mm}$  (twarde) i z podkładów typu B90 z wibroizolacją o sztywności  $S_o=80\text{kN/mm}$  (twarde). Drugi odcinek badawczy zbudowano z podkładów typu B90 z wibroizolacją o sztywności  $S_o=57\text{kN/mm}$  (miękkie) i z podkładów B70 z wibroizolacją o sztywności  $S_o=50\text{kN/mm}$  (miękkie). Trzeci odcinek podkładów bez wibroizolacji typu B70 i B90.

Pomiary przeprowadzono za pomocą pociągu ICE-1 jadącego z prędkością 250km/h. Wyniki pomiarów (rysunek 10 i 11), wykazują, że podkłady ze sztywną wibroizolacją 70-80 kN/mm wykazują zmniejszenie obciążeń tłucznia o 10-50% w większości zakresów widma częstotliwości, ale również zwiększenie tych obciążeń w zakresie częstotliwości którą wynosi 40-50 Hz. Na skutek zastosowania wibroizolacji następuje zmiana częstotliwości rezonansu i tworzy się nowy rezonans wskutek nowego poziomu sprężynowania (rysunek 10 i 11).

Porównując odcinki ze sztywną i miękką wibroizolacją stwierdzono, że przy miękkiej otrzymuje się nieco mniejsze obciążenie tłucznia w porównaniu z twardą izolacją.

W celu wykazania skuteczności zastosowania wibroizolacji podkładów betonowych przeprowadzono cykl symulacji komputerowych, obrazujących wielkość ciśnienia podkładów na podsypkę w zależności od częstotliwości drgań (rysunek 12 i 13).

Z badań wykonanych wcześniej na Politechnice Wrocławskiej wynika, że analogiczne zależności dotyczą również styku podsypki z podtorzem z uwzględnieniem redukcji naprężeń przez pomnożenie ich wartości przez współczynnik redukcyjny  $f = F / F_1$ , gdzie  $F$  jest powierzchnią styku podstawy podkładu

z podsypką a  $F_1$  aktywną powierzchnią styku podsypki z torowiskiem.

Z analizy wynika, że dla przedziału niskich częstotliwości w zakresie 0-10 Hz efekt wibroizolacji wynosi 30-40 %, w zakresie od 10-100 Hz jest bardzo wyraźny i znaczący sięgający nawet 70 %, a w zakresie częstotliwości powyżej 100 Hz jest zmienny, ale powyżej 400 Hz jest bardzo korzystny sięgający nawet 90%. Częstotliwości powyżej 400 Hz są charakterystyczne dla prędkości jazdy pociągów powyżej 250 km/h, co wynika z wykresów na rysunku 3.

### Podsumowanie

Przedstawione w opracowaniu wyniki badań i wnioski wynikające z ich analizy, wyraźnie wskazują na korzystne efekty stosowania podkładów strunobetonowych z wibroizolacją, szczególnie na liniach przeznaczonych do eksploatacji ze zwiększonymi i z dużymi prędkościami powyżej 160 km/h.

Rozwiązanie to należałoby wykorzystać przy projektowaniu i budowaniu nowej linii łączącej Wrocław z Poznaniem i Warszawą oraz przy modernizacji linii magistralnych takich jak CMK czy E-59. Zastosowane tam podkłady z wibroizolacją pozwoliłyby na zrekompensovania zwiększenia sztywności torowiska i znacząco wydłużyłyby okresy międzynaprawcze, dzięki ograniczeniu nacisków dynamicznych wywieranych podczas eksploatacji przez podkłady na podsypkę i przez podsypkę na torowisko. ◀

### Materiały źródłowe:

- [1] Krużyński M. "Badania izolacji antywibracyjnej w nawierzchni kolejowej" IX krajowa konferencja naukowo-techniczna "Drogi Kolejowe" 1997.
- [2] Müller-Borutttau F., Breitsamter N. „Elastische Elemente im Gleis verringern die Fahrwegbeanspruchung” www.imb-dynamik.de
- [3] Müller-Borutttau F., Kleinert: "Besohlte Schwellen" Eisenbahntechnische Rundschau-3/2001.
- [4] Müller-Borutttau, F.H.; Breitsamter, N.: Elastische Elemente verringern die Fahrwegbeanspruchung; Eisenbahntechnische Rundschau – 49 (2000).
- [5] Ebersbach, D., Müller-Borutttau F.H.: Dynamische Wegmessungen im Gleis- eine unverzichtbare Methode zur Auswahl neuer Oberbau komponenten in ETR-Eisenbahntechnische Rudschau 45(1996).
- [6] Müller-Borutttau, F.H.; Elastische Gleiskomponenten verringern die dynamische Unterbau- und Untergrundbeanspruchung; El-Eisenbahningenieur 52 (2001).
- [7] Krużyński M., Kwiatkowska E. „Wibroizolacja podkładów kolejowych”.