

Igor Gisterek¹
Marek Krużyński²
Ewelina Kwiatkowska³

MOŻLIWOŚCI PRZYSTOSOWANIA PODSYPKOWEJ NAWIERZCHNI KOLEJOWEJ DO EKSPLOATACJI Z DUŻYMI PRĘDKOŚCIAMI

Streszczenie

Istnieją rozmaite możliwości przystosowania toru podsypkowego do ruchu kolei dużych prędkości. Można to uzyskać między innymi z zastosowaniem żywiczej stabilizacji podsypki oraz stosowaniem podkładów z wibroizolacją. Zmodyfikowana w ten sposób konstrukcja nawierzchni powinna być w stanie przenosić obciążenia od szybkich pociągów. Artykuł zawiera opis badań laboratoryjnych i symulacji komputerowej zachowania konglomeratu tłuczniowo – żywicznego, jak również wyniki badań skuteczności zastosowania podkładów strunobetonowych z wibroizolacją.

Słowa kluczowe: tor kolejowy, żywicza stabilizacja podsypki, podkłady z wibroizolacją

1. Wstęp

Nadrzędnym celem przystosowania nawierzchni kolejowej i podtorza do eksploatacji z dużymi prędkościami jest zapewnienie im w znacznym stopniu ograniczonych zmian cech geometrycznych w czasie, przy zachowaniu cech sprężystych odpowiadających obecnie stosowanym rozwiązaniom klasycznym. Bezpieczeństwo eksploatacji z prędkościami powyżej 200 km/h wymaga zachowania bardzo zaostrzonych wymagań odnośnie kształtu i przestrzennego położenia

¹ dr inż. Politechnika Wroclawska, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, e-mail: igor.gisterek@pwr.wroc.pl

² dr hab. inż., prof. PWR, Politechnika Wroclawska, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, e-mail: marek.kruzynski@pwr.wroc.pl

³ mgr inż., Politechnika Wroclawska, Zakład Infrastruktury Transportu Szynowego, e-mail: ewelina.kwiatkowska@pwr.wroc.pl

toru. Warunki te mogą być spełnione, jeżeli zostanie zwiększona odporność podsypki na obciążenia dynamiczne z jednej strony, a z drugiej zmniejszone jej obciążenia. Można to uzyskać stosując powierzchnię stabilizację pryzmy podsypki żywicami syntetycznymi oraz elastyczną warstwę, również z tworzyw sztucznych, na powierzchni podstawy podkładów. Zabiegi wzmacniające i stabilizujące należy zastosować również w podtorzu, od podłoża i odwodnienia poczynając, a na warstwie tworzącej torowisko kończąc. Tak zmodyfikowana konstrukcja drogi kolejowej będzie w stanie sprostać wymaganiom kolei dużych prędkości i powinna z powodzeniem konkurować z nawierzchniami bezpodsypkowymi.

2. Wzmocnienie pryzmy podsypki

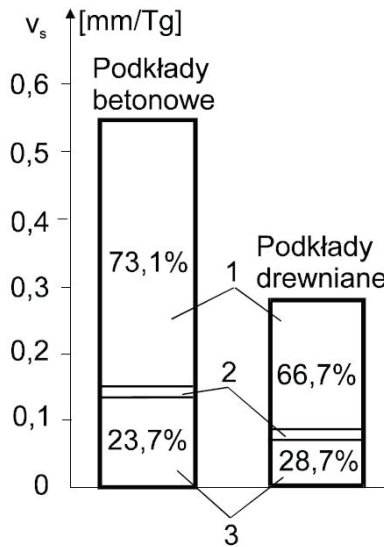
2.1. Stabilizacja podsypki żywicami syntetycznymi

Proponowanym sposobem na poprawę właściwości i zachowania toru klasycznego jest modyfikacja podsypki tłuczniowej, która nie wyklucza stosowania nietypowych podkładów i równoległych usprawnień innych elementów składowych toru. Ponieważ podsypka jako równoziarnisty, trudno zagęszczany materiał kamienny nie posiada wytrzymałości na rozciąganie, pożądane byłoby dodanie takiej cechy. Można to osiągnąć przez wprowadzenie pomiędzy ziarna lub w całą wolną przestrzeń między ziarnami dodatkowego materiału, który nada powstałemu w ten sposób konglomeratowi pewną wytrzymałość na rozciąganie. W ten sposób nadana spójność powinna zapobiec rozpełzaniu się pryzmy podsypki, wywołanemu oddziaływaniami dynamicznymi od przejeżdżających z dużą prędkością pociągów i zapobiegnie podrywaniu pojedynczych ziaren tłucznia [1]. Tworzywami nadającymi się do wiązania ze sobą ziaren podsypki są przede wszystkim żywice syntetyczne. Przy założeniu stabilnego podłoża, pożądanego na liniach nowo budowanych oraz modernizowanych szlakach linii magistralnych, należy uznać, że większość odkształceń trwałych zachodzi w warstwie podsypki. Zjawisko to wynika ze złożenia kilku podstawowych czynników, jak:

- narażenie podsypki na wysokie obciążenia, przekazywane prosto z podkładów,

- charakter kruszywa zabudowywanego w podsypce, które jest materiałem równoziarnistym i właściwie niezagęszczalnym, więc pod wpływem przyspieszeń poziomych i pionowych o zwrocie skierowanym w górę zachodzi zjawisko rozgęszczania ośrodka,
- brak dociążenia warstwy podsypki przez wyższe, leżące nad nią, tak jak ma to miejsce w przypadku warstwy ochronnej czy podtorza.

Badania dowodzą, że udział osiadań podsypki w całkowitych osiadaniach toru zawiera się w przedziale 67 – 73 % [2], przy czym pierwsza wartość jest charakterystyczna dla podkładów drewnianych, zaś druga – dla betonowych. Różnica w wartościach tłumaczona jest innymi charakterystykami tłumienia dla drewna i betonu, przez co inny charakter i wielkość mają drgania przekazywane na podsypkę. Trwałe osiadania toru wynoszą około 0,30 mm/Tg dla toru na podkładach drewnianych i około 0,55 mm/Tg dla podkładów betonowych.



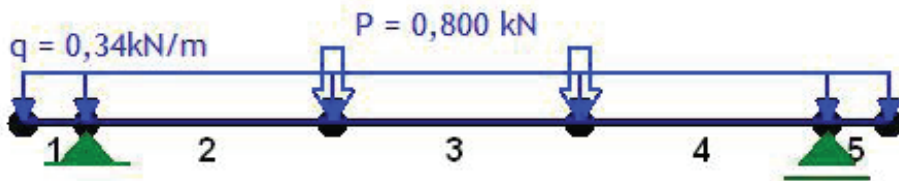
Rys. 1. Przykładowe udziały elementów podłoża podkładów w trwałych osiadaniach toru i tempo narastania osiadań: 1 - podsypka, 2 - warstwa ochronna, 3 - podtorze [3]

Na tej podstawie można przyjąć, że częściowe wyeliminowanie trwałych osiadań podkładów w podsypce lub znaczące ich ograniczenie jest możliwe do uzyskania za pomocą sklejenia ziaren tłuczniwa ze sobą, czyli zastosowanie zamiast ośrodka niespoistego, konglomeratu tłuczniowo – żywicznego posiadającego spójność. Dzięki temu uzyska

się wydłużenie okresów międzynaaprawczych, czyli obniżenie nakładów na utrzymanie toru. Zastosowanie takiej technologii pozwoli też na istotne obniżenie kosztów budowy nowych linii, przeznaczonych dla dużych prędkości w porównaniu z nawierzchniami bezpodsypkowymi.

W celu udowodnienia skuteczności stabilizacji podsypki metodą sklejanja jej ziaren żywicami syntetycznymi przeprowadzono cykl badań [4]. Oznaczono spójność konglomeratu w warunkach laboratoryjnych i na tej podstawie wyliczono zmniejszenie odkształceń pryzmy podsypki w torze oraz ograniczenie osiadania podkładów.

Badania przeprowadzono jako testowanie wytrzymałości belki swobodnie podpartej na zginanie, pod dwupunktowym obciążeniem.



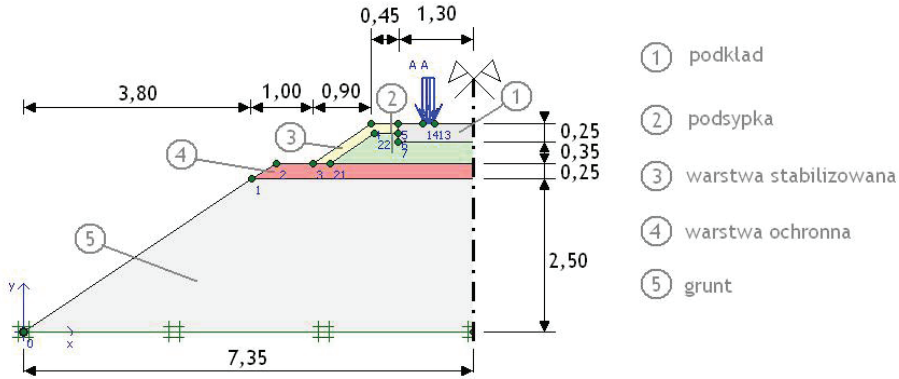
Rys. 2. Schemat podparcia i obciążenia badanych belek

Stosownych obliczeń dokonano za pomocą programu do analizy statycznej płaskich konstrukcji prętowych RM-Win v. 1.22.

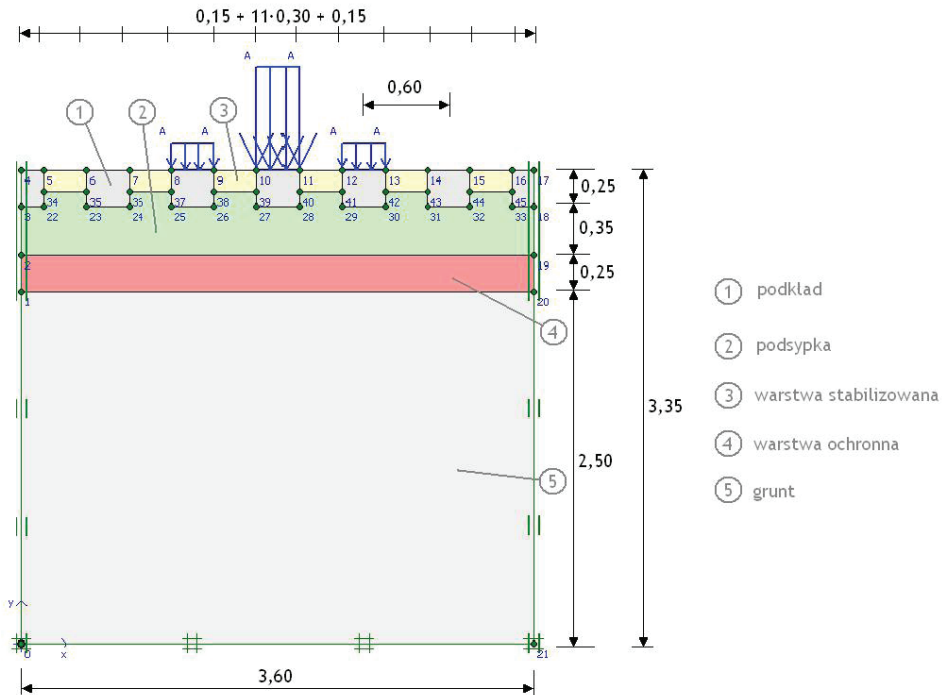
W badaniach uzyskano maksymalną wartość siły łamiącej $P = 800 \text{ N} = 0,8 \text{ kN}$, natomiast najcięższa badana belka miała masę $25,79 \text{ kg}$, co w przeliczeniu daje wartość obciążenia rozłożonego $q = 343,9 \text{ N/m} = 0,344 \text{ kN/m}$. Dla takiego schematu statycznego oraz zadanych obciążeń uzyskano maksymalny moment zginający $M = 175 \text{ Nm}$ oraz maksymalną siłę tnącą $T = 903 \text{ N}$. Po podstawieniu obciążenia jedynie ciężarem własnym do wzoru na σ_{\max} uzyskuje się wartość $\sigma_{\max} = 0,026 \text{ MPa}$, która odpowiada spójności konglomeratu.

Przeprowadzone badania wykazały, że użyta do nich żywica syntetyczna pozwala na uzyskanie z tłuczniem granitowym kompozytu wykazującego spójność i przenoszącego naprężenia rozciągające od $0,027$ do $0,311 \text{ MPa}$. Dzięki tym własnościom kompozyt może znaleźć zastosowanie jako powłoka zabezpieczająca i stabilizująca pryzmę podsypki kolejowej. Analiza numeryczna schematu nawierzchni kolejowej z podsypką stabilizowaną żywicą syntetyczną powierzchniowo, na głębokość $10 - 50 \text{ cm}$ wykazała szereg pozytywnych zjawisk w po-

równaniu z podsypką nie stabilizowaną. Uzyskano wzrost stateczności pryzmy podsypki objawiającej się zmniejszeniem osiadania podkładów i wypierania ziaren tłucznia. Analizowano model nawierzchni w przekroju poprzecznym (rys.3) i w przekroju podłużnym (rys.4).

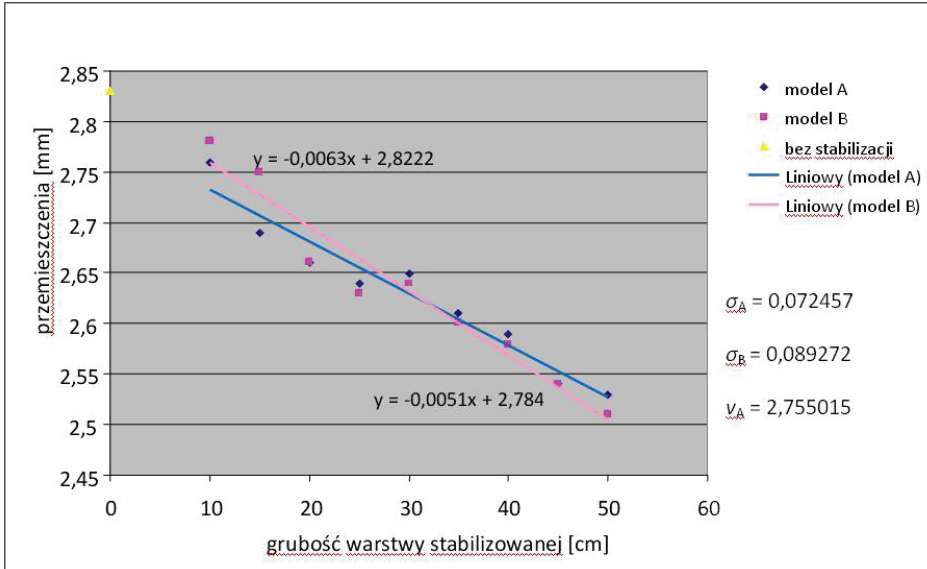


Rys. 3. Przykładowy widok połowy modelu w przekroju poprzecznym z zastosowaniem warstwy stabilizowanej w strefie obsypki czół podkładów i na skarpach pryzmy podsypki

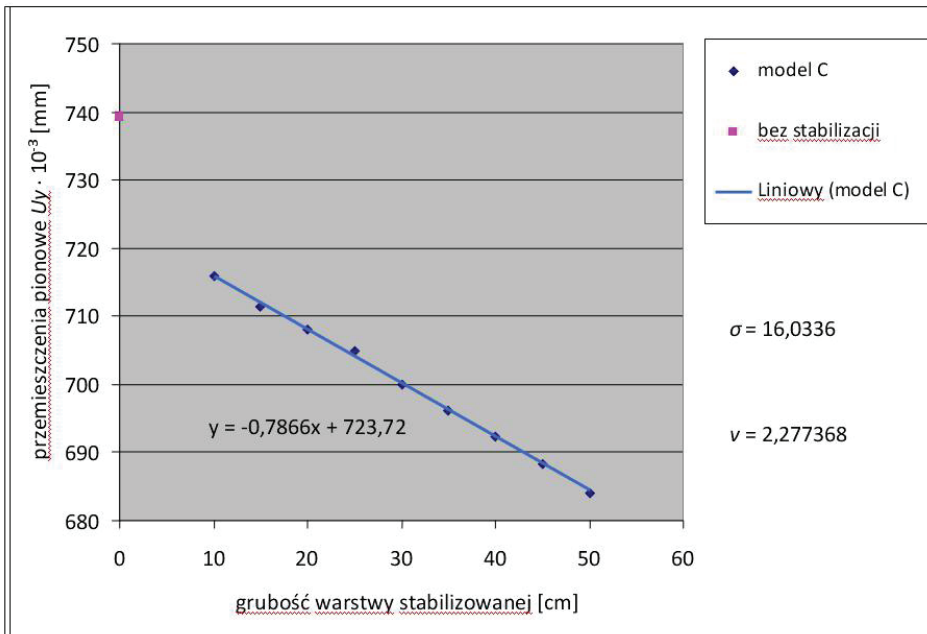


Rys. 4. Przykładowy widok modelu w przekroju podłużnym z zastosowaniem warstwy stabilizowanej w okienkach międzypokładowych

Z przeprowadzonej analizy uzyskano pozytywne wyniki charakteryzujące się korzystnym wpływem powierzchniowej stabilizacji podsypki na stan odkształceń podsypki i przemieszczeń podkładów. Przykładowe wykresy wyników przedstawiono na rysunkach 5 i 6.



Rys. 5. Wykres zależności pomiędzy maksymalnymi przemieszczeniami pionowymi U_y a grubością warstwy stabilizowanej w modelach A i B



Rys. 6. Wykres zależności pomiędzy maksymalnymi przemieszczeniami pionowymi U_y a grubością warstwy stabilizowanej w modelu C

Jako model A oznaczono wariant ze stabilizacją tylko strefy obsypania czół podkładów, natomiast jako model B – ze stabilizacją strefy obsypania czół podkładów i skarp przyzmy podsypki w przekroju poprzecznym, zgodnie z rysunkiem 3. Model C odpowiada podłużnemu przekrojowi nawierzchni kolejowej według rysunku 4.

Obydwa przedstawione wykresy wskazują jednoznacznie na zmniejszenie osiadań podkładów dzięki zastosowaniu stabilizacji górnej strefy posypki, Skuteczność stabilizacji zależy jednak od grubości warstwy stabilizowanej i dla warstwy o grubości 10 cm wynosi około 3%, ale dla 35 cm wzrasta do 6,5-7,3%, przy jednokrotnym obciążeniu. Przy wielokrotnym obciążeniu, jak to ma miejsce w nawierzchni kolejowej, efekty będą również zwielokrotnione.

Ponadto należy zaznaczyć, że powierzchniowa stabilizacja podsypki w większym jeszcze stopniu zwiększa opór na boczne przemieszczenia podkładów i zabezpiecza ziarna podsypki przed podrywaniem przez tabor poruszający się z dużymi prędkościami.

2.2. Zbrojenie podsypki geosiatkami

Zbrojenie kruszyw geosiatkami, a w szczególności podsypki kolejowej może w porównywalnym stopniu jak stabilizacja powierzchniowa żywicami syntetycznymi przyczynić się do dalszego ograniczenia osiadań podkładów podczas eksploatacji torów kolejowych z dużymi prędkościami. Brakuje jednak udokumentowanych badań potwierdzających skuteczność takiego rozwiązania. Dochodzą do tego wątpliwości, czy warstwy geosiatki ułożone nawet tylko w dolnej strefie przyzmy podsypki nie utrudnią procesów technologicznych związanych z utrzymaniem toru nie mówiąc już o oczyszczaniu czy wymianie podsypki oraz naprawach podtorza, na przykład z wykorzystaniem maszyny AHM800R.

3. Ograniczenie obciążeń dynamicznych podsypki i podtorza

3.1. Wibroizolacja między podkładami i podsypką

Powszechne wprowadzenie do eksploatacji podkładów betonowych w miejsce drewnianych niesie ze sobą pewne ujemne zjawiska charakteryzujące się między innymi przeciążeniami dynamicznymi podłoża, co często powoduje jego zwiększone deformacje. Beton, a w szczególności beton sprężony ma charakterystykę sprężysto-kruchą pod-

czas gdy drewno jest bardziej sprężysto-plastyczne i posiada znacznie mniejszą twardość. Dzięki temu podkłady drewniane lepiej tłumią drgania i w większym stopniu pochłaniają energię przekazywaną od kół pojazdów na podsypkę i podtorze. Zbliżenie charakterystyk dynamicznych podkładów betonowych do drewnianych można osiągnąć stosując warstwy wibroizolacyjne między podkładami a podsypką, uzyskując w ten sposób lepsze tłumienie drgań, mniejsze obciążenia dynamiczne podsypki oraz ochronę przed przeciążeniami dynamicznymi podtorza.

Podkłady, z dodatkową warstwą tłumiącą drgania przekazywane na podsypkę, nazywane dalej „podkładami z wibroizolacją” (w literaturze niemieckiej nazywane „besohlte Schwellen” czyli podkłady podzielowane) są już obecnie stosowane w praktyce głównie na kolejach niemieckich. Badania tego efektu prowadzone były na Politechnice Wrocławskiej [5] oraz w ośrodkach zagranicznych [6]. Warstwa izolacji antywibracyjnej powinna być sprężysto – plastyczna, zespolona w sposób trwały z dolną powierzchnią podkładu betonowego, odporna na oderwanie, rozerwanie i przebicie przez ziarna podsypki tłuczniowej.

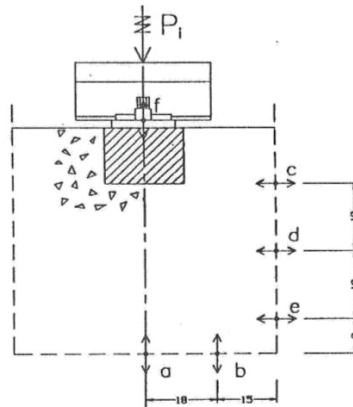
Szczególnie w obecnym stadium rozwoju konstrukcji nawierzchni kolejowej związanych z przystosowaniem do coraz większych obciążeń i prędkości, dochodzi do jej przeszywniania. Wpływa na to zwiększenie gabarytów podkładów, ich masy, powierzchni styku z podsypką i powierzchni przekroju poprzecznego. Zwiększenie sztywności nawierzchni kolejowej powoduje bezpośrednio wzrost sił dynamicznych w styku kół z szynami, a w efekcie zwiększenie obciążeń dynamicznych podsypki i podtorza. Zastosowanie sprężysto- plastycznej warstwy wibroizolacji na powierzchni podstawy podkładów może złagodzić ten efekt, a przy odpowiednim doborze materiału warstwy wibroizolacyjnej i jej grubości całkowicie go zlikwidować. Uzyskana w ten sposób konstrukcja, łagodniej oddziałując na podsypkę w pewnej mierze ochroni również podtorze przed przeciążeniami i przed nadmiernymi lokalnymi deformacjami.

3.2. Badania eksperymentalne skuteczności wibroizolacji podkładów kolejowych

W celu wykazania skuteczności stosowania wibroizolacji podkładów kolejowych przeprowadzono pomiary laboratoryjne czterech typów podkładów kolejowych. Analizie statycznej i dynamicznej podda-

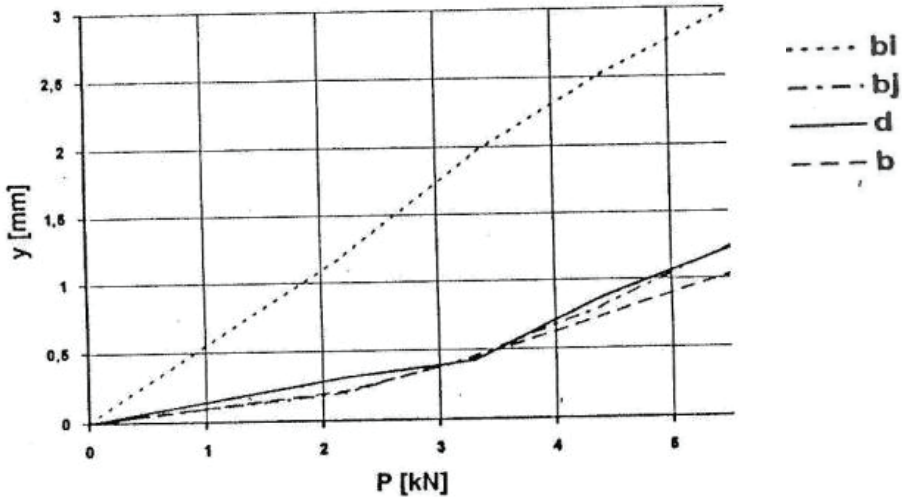
no podkłady drewniane, betonowe, betonowe z wibroizolacją z gumy mikroporowatej i betonowe z wibroizolacją z folii PCV. W badaniach symulacyjno-modelowych z wykorzystaniem modelu fizycznego uzyskano wyniki potwierdzające skuteczność zastosowania wibroizolacji do podkładów betonowych. Stwierdzono zmniejszenie przemieszczeń i przyspieszeń drgań pionowych torowiska do 40% dla przyjętych modeli fizycznych konstrukcji nawierzchni kolejowej. Badania miały na celu porównanie oddziaływań dynamicznych na torowisko przy podkładach drewnianych, betonowych oraz betonowych z wibroizolacją. Stanowisko badawcze (rys. 7) zbudowano z:

- szyny S49 o długości 30 cm przymocowanej do odcinka podkładu długości 45 cm przytwierdzeniem typu K, z przekładką z płyty pilśniowej grubości 5 mm i podkładką PCV o grubości 3 mm (przy podkładach betonowych),
- warstwy podsypki tłuczniowej zabudowanej w pojemniku o wymiarach 70 x 70 x 66 cm, umożliwiającym wykonanie pomiarów przemieszczeń i przyspieszeń drgań,
- warstwy wibroizolacyjnej między podkładem a podsypką,
- wzbudnika udarowego realizującego jednokrotny impuls siły przy pomocy spadającej masy $m = 1775$ g z wysokości $h = 165$ cm,
- podkładów kolejowych: podkład drewniany (d), podkład betonowy bez wibroizolacji (b), podkład betonowy z wibroizolacją z gumy mikroporowatej grubości 12 mm na dolnej powierzchni podkładu (b_1), podkład betonowy z wibroizolacją z folii PCV o grubości 0,7 mm na powierzchni podkładu i na bokach (b_2).



Rys. 7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych: a, b, f- pomiar przemieszczeń i przyspieszeń pionowych, c, d, e- pomiar przemieszczeń i przyspieszeń poziomych

Badania statyczne obejmowały obciążenie każdego z czterech modeli z podkładami typu: b , d , b_i , b_j siłą 5,5 kN i pomiar ich przemieszczeń pionowych. Badanie przeprowadzono w celu uzyskanie parametru porównawczego reakcji modeli badawczych na wzbudzenie i charakterystyki sprężystości podparcia szyn.



Rys.8. Charakterystyki sprężystości podparcia szyn dla modeli : b , d , b_i , b_j . [5]

Wyniki pomiarów statycznych przedstawiono na rys. 8, obrazującym charakterystyki sprężyste podparcia szyn. Najsztwniejszą konstrukcją nawierzchni okazał się model skonstruowany z podkładu betonowego bez wibroizolacji. Do najbardziej podatnej nawierzchni zakwalifikowano podkłady betonowe z wibroizolacją z mikrogumy.

Badania dynamiczne również wykazały, że zastosowanie wibroizolacji podkładów betonowych zbliża je do charakterystyk dynamicznych podkładów drewnianych. Przy zastosowaniu wibroizolacji typu miękkiego z mikrogumy przy podkładach betonowych stwierdzono redukcję amplitud przyspieszeń drgań o 40 % w porównaniu z podkładami betonowymi bez wibroizolacji (tab. 1). Badania dynamiczne przeprowadzono za pomocą wzbudnika udarowego realizującego jednokrotny impuls siły. Miarę sprężystości przyjęto w postaci współczynnika „ k ” obrazującego stosunek przyłożonej siły do przemieszczenia pionowego torowiska. Parametr ten dla podkładów betonowych z wibroizolacją jest znacznie mniejszy niż dla podkładów betonowych bez wibroizolacji i nawet niż dla podkładów drewnianych.

Tab.1. Zależność przyspieszeń drgań od sztywności podparcia podkładów dla różnych badanych modeli [5]

Model nawierzchni	k[kN/mm]	A_i [mm/s ²]
b_i	2,10	2,77
b_j	4,58	3,51
d	4,91	3,92
b	5,39	4,65

Badania dynamiczne miały również na celu pomiar przyspieszenie drgań przekazywanych na podtorze przez podsypkę. Pomiarzy 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).

Tab. 2. Zależność przyspieszeń drgań od sztywności podparcia podkładów w zależności od badanego modelu [5]

Model nawierzchni	$k[\frac{A_b - A_i}{A_b}]m$	[%]
b_i	2,10	40
b_j	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.

Wyniki pomiarów dynamicznych i statycznych wykazują skuteczność stosowania wibroizolacji podkładów betonowych w celu ochrony podsypki i podtorza kolejowego przed nadmiernymi przemieszczeniami i przyspieszeniami. Z interpretacji wyników pomiarów wynika, że zastosowanie cienkiej warstwy izolacyjnej w podkładzie betonowym daje lepsze efekty niż stosowanie podkładów drewnianych. Zastosowanie wibroizolacji poprawia warunki eksploatacji podsypki i podtorza ponieważ pod podkładami zmniejszają się maksymalne naprężenia w podsypce, których działanie jest najbardziej destrukcyjne dla konstrukcji drogi kolejowej.

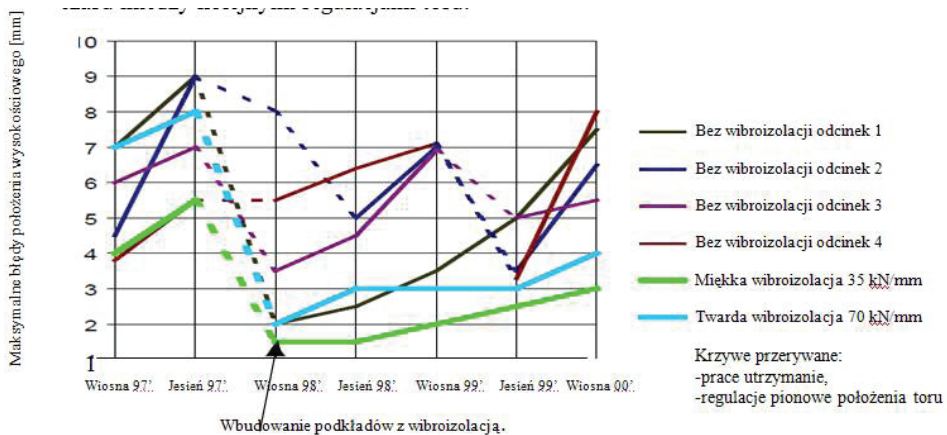
3.3. Badania terenowe skuteczności wibroizolacji podkładów kolejowych

Badania podkładów z wibroizolacją przeprowadzano również na nowobudowanych liniach kolejowych w Niemczech i Austrii. Podkłady

betonowe z wibroizolacją zastosowano na liniach wysokich prędkości o dopuszczalnej prędkości powyżej 250 km/h. Na badanych odcinkach wbudowano sześć różnego rodzaju nawierzchni kolejowych podsypkowych i zastosowano dwa typy podkładów z wibroizolacją o sztywności 35 kN/mm i 70 kN/mm.

Po dwóch latach eksploatacji przeprowadzono pomiary przemieszczeń pionowych występujących na badanych odcinkach (rys. 9). Wyniki pomiarów dają jednoznaczną odpowiedź na pytanie o skuteczność wibroizolacji. 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 4-5 razy szybciej, w najkorzystniejszej sytuacji.

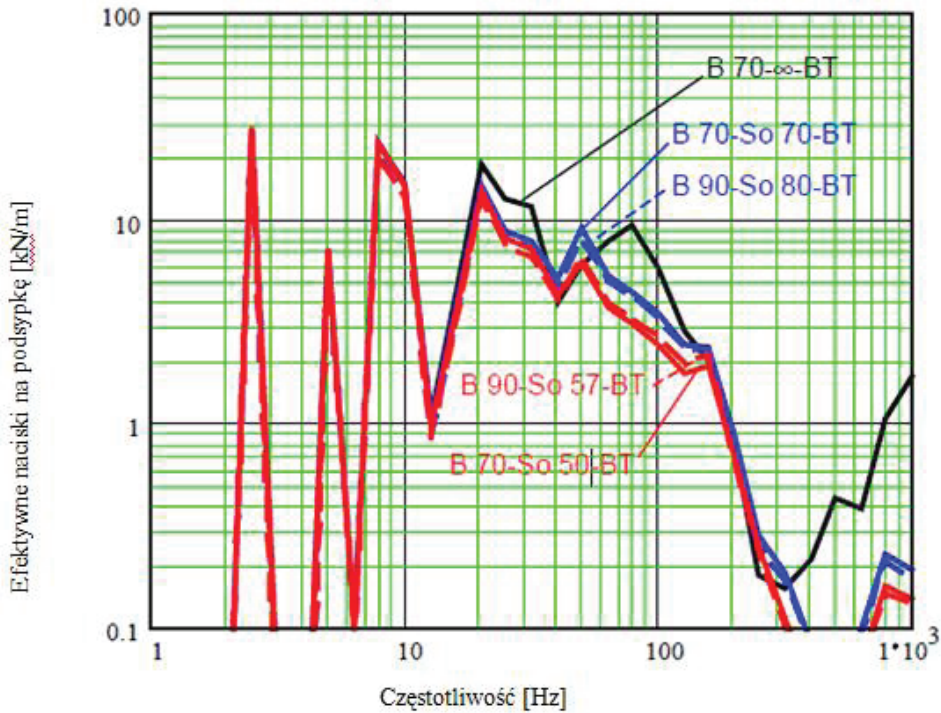
Wzrost osiadania przy pokładach z wibroizolacją jest co najmniej o 25 % mniejszy niż toru z podkładami bez wibroizolacji. Daje to pożądane wydłużenie czasu między kolejnymi regulacjami toru.



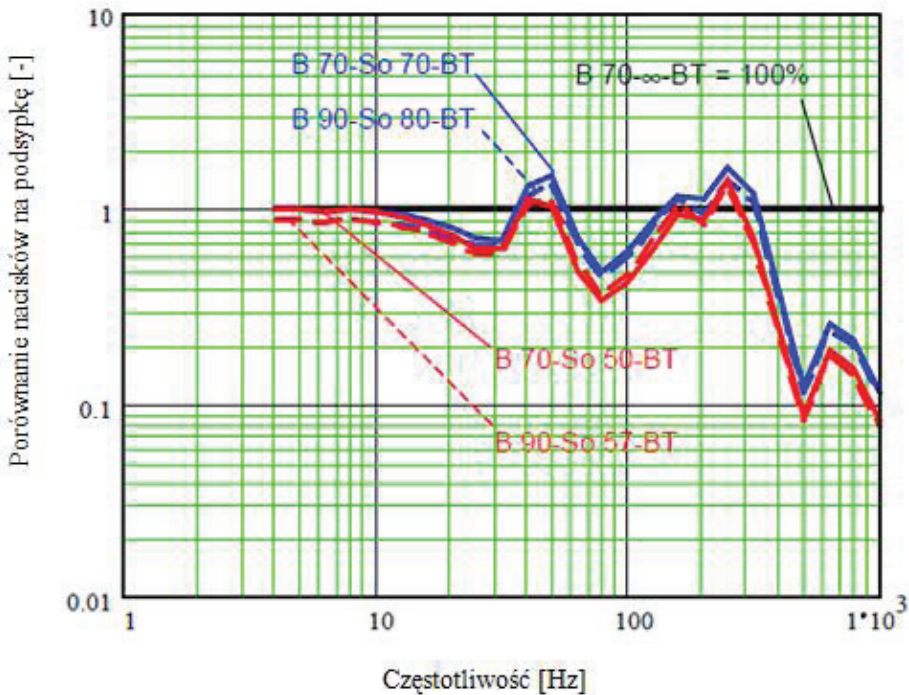
Rys. 9. Krzywa przemieszczeń pionowych [7]

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 70 kN/mm (twarda) i z podkładów typu B90 z wibroizolacją o sztywności 80 kN/mm (twarda). Drugi odcinek badawczy zbudowano z podkładów typu B90 z wibroizolacją o sztywności 57 kN/mm (miękka) i z podkładów B70 z wibroizolacją o sztywności 50 kN/mm (miękka). Trzeci odcinek wykonano z podkładów bez wibroizolacji typu B70 i B90.

Pomiary przeprowadzono za pomocą pociągu ICE-1 jadącego z prędkością 250 km/h. Wyniki pomiarów (rysunek 10 i 11), dowodzą, że podkłady ze sztywną wibroizolacją 70 - 80 kN/mm wykazują zmniejszenie obciążeń tłucznia o 10 - 50% w większości zakresów widma częstotliwości. Na skutek zastosowania wibroizolacji następuje zmiana częstotliwości rezonansowej 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.



Rys. 10. Obciążenia tłucznia na sztywnym podłożu dla podkładów z miękką wibroizolacją (czerwona krzywa), z twardą (niebieska) oraz podkładów bez wibroizolacji (czarna krzywa) [8]



Rys. 11. Porównanie obciążeń podsyпки [9]

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.

4. Podsumowanie

Przedstawione w opracowaniu wyniki badań i wnioski wynikające z ich analizy, wyraźnie wskazują na korzystne efekty stosowania podkładów strunobetonowych z wibroizolacją w połączeniu z powierzchniową stabilizacją podsyпки. Dotyczy to szczególnie modernizacji istniejących i budowy nowych linii 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 i Poznań z Warszawą oraz przy modernizacji linii magistralnych takich jak CMK czy E-59. Zastosowanie tam powierzchniowej stabilizacji chemicznej podsypki i podkładów struno-betonowych z wibroizolacją pozwoliłoby na zrekompensowanie zwiększenia sztywności torowiska i znacząco wydłużyłoby okresy między-naprawcze. Efekt ten można uzyskać dzięki zwiększeniu odporności podsypki na odkształcenia pionowe i poziome oraz dzięki ograniczeniu nacisków dynamicznych wywieranych podczas eksploatacji przez podkłady na podsypkę i przez podsypkę na torowisko.

Bibliografia

- [1] Frenzel J., Frenzel J.: Neues Gleisoberbausystem Durflex. Eisenbahningenieur nr 3 / 2008, str. 13 - 17.
- [2] Skrzyński E.: Nowe wymagania dla podsypki kolejowej. Problemy Kolejnictwa z. 145 / 2007, str. 43 - 62.
- [3] Skrzyński E.: Podtorze kolejowe. PKP Polskie Linie Kolejowe 2010.
- [4] Gisterek I.: Badania i analiza efektów stabilizacji podsypki kolejowej. Raport serii PRE nr 4/2011. Praca doktorska.
- [5] Krużyński M.: Badania izolacji antywibracyjnej w nawierzchni kolejowej. IX krajowa konferencja naukowo-techniczna "Drogi kolejowe" 1997.
- [6] Müller-Boruttau F., Kleinert M.: Besohlte Schwellen. Eisenbahntechnische Rundschau - 3/2001.
- [7] Müller-Boruttau F., Breitsamter N.: Elastische Elemente im Gleis verringern die Fahrwegbeanspruchung. www.imb-dynamik.de.
- [8] Müller-Boruttau F.H.; Breitsamter N.: Elastische Elemente verringern die Fahrwegbeanspruchung. Eisenbahntechnische Rundschau - 49 (2000).
- [9] Ebersbach D., Müller-Boruttau F.H.: Dynamische Wegmessungen im Gleis- eine unverzichtbare Methode zur Auswahl neuer Oberbau Komponenten in ETR-Eisenbahntechnische Rundschau 45(1996).

ADAPTABILITY OF BALLAST TRACK FOR HIGH SPEED OPERATION

Summary

There are many ways to modify ballast track for high speed trains operation. One of them is usage of ballast bonding with resins and vibration damping layer fitted to the bottom of sleepers. Such modified construction should be able to withstand the manifold loads from passing trains. The results of laboratory tests on ballast – resin conglomerate, MES simulation of conglomerate behavior, as well as results of research on damping properties of sleeper pads have been given in the paper.

Keywords: *railway track, ballast bonding, sleeper pads*