

Parametry techniczne podkładek pod podkładami

Ewelina Kwiatkowska



mgr inż. Ewelina Kwiatkowska

Politechnika Wrocławska, Katedra
Mostów i Kolei

ewelina.kwiatkowska@pwr.edu.pl

Geneza zagadnienia

Wibroizolacja stosowana na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych (Sprężyste Podpory Podkładów tzw. „zelówki”) stosowana jest powszechnie na liniach kolei niemieckich, austriackich i hiszpańskich między innymi w celu ochrony antywibracyjnej, poprawy parametrów użytkowych toru kolejowego oraz obniżenia kosztów cyklu życia (LCC). Wibroizolacja w podkładach strunobetonowych ma na celu poprawę parametrów użytkowych linii kolejowej poprzez redukcję deformacji nawierzchni w czasie eksploatacji i ograniczenie wibracji. W zależności od wyboru parametrów materiału Sprężyste Podpory Podkładów mogą być użyte jako element tłumiący drgania i wibracje lub poprawiający stabilność toru, wydłużający jego okres użytkowania poprzez zagłębienie się ziaren (zwiększenie powierzchni kontaktu) podsypki tłuczniowej w sprężystej warstwie materiału wibroizolacyjnego – SPP na spodniej powierzchni podkładu.

Elementy sprężyste – SPP stosowane w podkładach strunobetonowych jako „zelówki” zostały opracowane tak, aby zagłębienie ziaren podsypki tłuczniowej w warstwie wibroizolacji powodowało zwiększenie

oporu na przesuw poprzeczny podkładu na łukach zachowując geometryczną niezmienną rusztu torowego w pionie i poziomie. W wyniku zagłębienia się ziaren podsypki tłuczniowej w warstwę wibroizolacji na podrozdnicach następuje równomierny rozkład naprężenia w częściach stalowych rozjazdu przyczyniając się do równomiernego zużycia się rozjazdu, wydłużając okresy międzynaprawcze.

Podkłady strunobetonowe ze Sprężystymi Podporami Podkładów zmieniają charakterystykę kontaktu podkładu strunobetonowego z warstwą podsypki tłuczniowej rys.1. Zastosowanie SPP wpływa na zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu strunobetonowego z ziarnami podsypki tłuczniowej. Powierzchnia kontaktu podkładu z podsypką tłuczniową w wyniku zastosowania sprężystej warstwy wibroizolacyjnej zwiększa się z 5 do 18-43% (zależności od materiału antywibracyjnego). Zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu z ziarnami podsypki tłuczniowej wpływa na zmniejszenie degradacji ziaren podsypki tłuczniowej. Ziarna tłucznia zagłębiają się w sprężystej podporze podkładu nie mając kontaktu z betonem, nie przemieszczają się względem siebie, ograniczając ścieranie ziaren podsypki tłuczniowej. Zmniejszenie ścierania spowalnia zanieczyszczanie tłuczni pyłami i wydłuża okresy międzynaprawcze spowodowane koniecznością oczyszczania podsypki.

Grubość Sprężystej Podpory Podkładu ma duży wpływ na zagadnienie zwiększenia powierzchni kontaktu pomiędzy kamieniami tłuczni a podstawą podkładu. Przy założeniu, że ziarno tłucznia będące ostrosłupem prawidłowym o podstawie kwadratu i wszystkich krawędziach o długości 40 mm zagłębia się prostopadle do powierzchni SPP wierzchołkiem ostrosłupa, można wyznaczyć powierzchnię kontaktu ziarna ze sprężystą podporą podkładu.

Zakładając dodatkowo, że Sprężysta Podpora Podkładu zostaje pod obciążeniem ściśnięta do grubości 1 mm to ostrosłup w SPP o grubości 4 mm może zagłębić się jedynie na głębokość 3 mm. Dla SPP o grubości 7 mm głębokość zagłębienia wierzchołka ostrosłupa wynosić będzie 6 mm. Z obliczeń wynika, że dwukrotne zwiększenie głębokości zagłębienia przekłada się na czterokrotne zwiększenie powierzchni kontaktu ścian ostrosłupa i SPP.

W wyniku zastosowania elementów

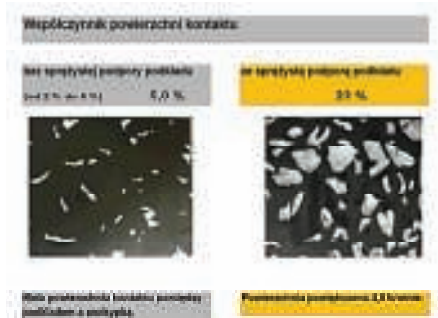
sprężystych w nawierzchni kolejowej można uzyskać pozytywne efekty przez zastosowania materiału wibroizolacyjnego o precyzyjnie dobranych parametrach materiału takim jak sztywność statyczna, dynamiczna oraz grubość materiału. Dobór parametrów technicznych materiału wibroizolacyjnego zależy od lokalizacji odcinka szlakowego, warunków środowiskowych, powodu zastosowania elementów sprężystych. Na rynku dostępne są Sprężyste Podpory Podkładów o różnych właściwościach. Dobór konkretnego produktu zależy od celu jaki chcemy uzyskać: poprawa jakości torowiska lub/i wibroizolacja oraz poprawa parametrów konstrukcji nawierzchni i typu ruchu na linii kolejowej.

Ochrona antywibracyjna toru kolejowego

Drgania nawierzchni kolejowej o podkładach strunobetonowych wywołane przejazdem pociągu przyczyniają się do przeciążeń dynamicznych podsypki tłuczniowej i podtorza, a w konsekwencji do wzrostu deformacji pionowych i poziomych górnej warstwy nawierzchni. Deformacje pionowe i poziome nawierzchni kolejowej wpływają na bezpieczeństwo i komfort podróżujących koleją oraz wzrost emisji wtórnego hałasu powietrznego w obszarach przy linii kolejowej. Wibracje toru kolejowego wpływają na zużycie nawierzchni i transmitowane przez grunt są przyczyną wtórnego hałasu powietrznego w okolicznych budynkach. Redukcja drgań nawierzchni w wyniku zastosowania materiału antywibracyjnego wpływa na wydłużenie trwałości nawierzchni i obniżenie wtórnego hałasu w obszarze linii kolejowej.

Wpływ grubości sprężystych podpór podkładów na ochronę antywibracyjną toru kolejowego

Ochrona antywibracyjna nawierzchni kolejowej w postaci redukcji wibracji i wydłużenie trwałości nawierzchni uzależniona jest od parametrów technicznych materiału wibroizolacyjnego podkładów strunobetonowych. Przez parametry techniczne materiału rozumiana jest m.in. sztywność statyczna, dynamiczna oraz grubość warstwy sprężystej w SPP. Grubość warstwy sprężystej w SPP wpływa na skuteczność tłumienia wibracji ponieważ ziarna podsypki



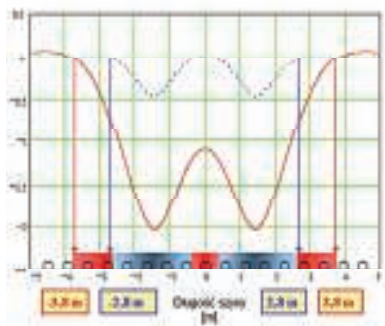
1. Powierzchnia kontaktu podkładu strunobetonowego z ziarnami podsypki tłuczniowej bez wibroizolacji wynosi 5%, w wyniku zastosowania wibroizolacji wynosi 23% (SLB 3007 G, grubość 7 mm, sztywność statyczna 0,3 N/mm 3)



2. Podkład strunobetonowy z izolacją antywibracyjną o sztywności 35 kN/mm wybudowany z toru po 36 miesiącach eksploatacji [5]



3. Pomiar wielkości odcisków dla podkładów strunobetonowych z izolacją o sztywności 35 kN/mm [6]



4. Rozkład obciążenia na długości szyny dla nawierzchni o podkładach z wibroizolacją (krzywa czerwona) o sztywności 0,13 kN/mm³ i bez wibroizolacji (krzywa niebieska)

tłuczniowej zagłębiają się w Sprężystej Podporze Podkładu. W wyniku zagłębienia się ziaren tłucznia w warstwie wibroizolacji uzyskuje się zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu z posypką tłuczniową polepszając charakterystykę pracy podkładu. Przenoszenie obciążeń w wyniku zastosowania Sprężystych Podpor Podkładów zmniejsza naprężenia rozciągające w górnej części podkładu i redukuje odrywanie podkładu od ziaren tłucznia w strefie podszynowej.

Ziarna podsypki tłuczniowej mają wielkość 32-64 mm. Efekt zagłębienia się ziaren podsypki tłuczniowej oraz maksymalne zagłębienie się ziaren w warstwie materiału antywibracyjnego zależy od doboru parametrów technicznych takich jak sztywność i grubość warstwy sprężystej w SPP. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że odkształcony materiał izolacji antywibracyjnej nie może ulec przebiciu przez ziarna podsypki tłuczniowej. Po zagłębieniu się ziaren podsypki tłuczniowej w materiale wibroizacyjnym powinien on zachować niezmiennie parametry sztywności statycznej i dyna-

micznej wraz z odpornością na przebicie podczas podbijania. Przebicie wibroizacji przez ostre krawędzie podsypki tłuczniowej będzie skutkowało utratą skuteczności tłumienia wibracji oraz zmianą charakterystyki pracy podkładu.

Materiał wibroizacyjny ma zapewnić możliwość prowadzenia prac utrzymaniowych takich jak podbijanie toru. Podczas podbijania toru ziarna posypki tłuczniowej przemieszczają się pod powierzchnią podkładu w związku z tym aby nie doszło do oderwania Sprężystej Podpory Podkładu musi ona być trwale złączona z podkładem.

Badania laboratoryjne

Badania laboratoryjne przeprowadzono na podkładach strunobetonowych z dwoma typami SPP antywibracyjnych o grubości 10 mm na spodniej powierzchni podkładu. Przeprowadzone badania miały na celu ocenę wpływu SPP antywibracyjnych na zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu z tłucznem kolejowym. Badania przeprowadzono na trzech podkładach strunobetonowych. Pierwszym analizowanym typem podkładów był podkład strunobetonowy bez izolacji antywibracyjnej. Drugim analizowanym podkładem był podkład strunobetonowy z SPP o sztywności 35 kN/mm. Trzeci podkład strunobetonowy wyposażony był w SPP o sztywności 70 kN/mm. W badaniach poświęconych określeniu powierzchni kontaktu podkładu z tłucznem wykorzystano trzy typy podkładów wybudowanych z linii kolejowej. Okres eksploatacji linii kolejowej, z której wybudowano podkłady wynosił 3 lata od 1997 - 2000 r. Odcinek linii kolejowej, z której wybudowano podkłady dwukrotnie przechodził prace utrzymaniowe w postaci podbijania toru.

Pierwsze podbijanie przeprowadzone po oddaniu toru do eksploatacji, odbyło się po sześciu miesiącach od zabudowy, natomiast drugie podbijanie wykonano po 36 miesiącach. Następnie podkłady wybudowano i poddano analizie w warunkach laboratoryjnych rys. 2 i 3.

Podczas analizy powierzchni wibroizacji grubości 10 mm o sztywnościach 35 kN/mm i 70 kN/mm po 36 miesiącach eksploatacji wykazano, że nie nastąpiło przebicie ziarnami tłucznia materiału wibroizacyjnego. Analiza laboratoryjna materiału wykazała niezmiennosć parametrów technicznych wibroizacji.

Analizie poddano maksymalne wartości powierzchni odcisków ziaren tłucznia w warstwie wibroizacji. Dodatkowo przeprowadzono pomiary pozwalające na określenie średniej głębokości odcisków. Analizie poddano wibroizację o nominalnej grubości 10 mm, wyniki pomiarów przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki badań wykazują, że typ zastosowanej wibroizacji wpływa na głębokość odcisków ziaren tłucznia w wibroizacji rys. 2. Maksymalne wielkości zagłębień ziaren podsypki tłuczniowej dla wibroizacji o sztywności 70 kN/mm wynoszą 2,3 mm, a maksymalne wartości dla podkładów z wibroizacją o sztywności 35 kN/mm, wnoszą 1,4 mm. Ponadto analizie porównawczej poddano powierzchnię kontaktu podkładu strunobetonowego z tłucznem, bez wibroizacji oraz z dwoma typami analizowanych wibroizacji.

Aktywna powierzchnia podkładu bez wibroizacji wynosi około 10 % całkowitej powierzchni podstawy podkładu. Z wyników zaprezentowanych dla podkładów z wibroizacją uzyskano wzrost dwukrotny powierzchni kontaktu spodu podkładu z podsypką tłuczniową. Dla podkładów z wibroizacją o sztywności 35 kN/mm uzyskano powierzchnię kontaktu wynoszącą 41 % całkowitej powierzchni podstawy podkładu, a dla podkładu z wibroizacją o sztywności 70 kN/mm uzyskano powierzchnię kontaktu wynoszącą 18 % całkowitej powierzchni podstawy podkładu, wyniki zaprezentowano w tabeli 2.

Wyniki badań laboratoryjnych wykazują, że przy sprężystej podporze podkładu o sztywności 35 kN/mm i grubości 10 mm na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych uzyskano czterokrotne zwiększenie powierzchni kontaktu podkładu z ziarnami podsypki tłuczniowej w porównaniu z podkładami bez wibroizacji.

Badania numeryczne

W wyniku zastosowania wibroizacji na spodniej powierzchni podkładów następuje redukcja naprężenia w podsypce tłuczniowej w wyniku zwiększenia powierzchni kontaktu podkładu strunobetonowego z

Tab. 1. Głębokość odcisków tłucznia w warstwie wibroizacji, wielkości średnie i maksymalne po 36 miesiącach eksploatacji [5]

Głębokość odcisków ziaren tłucznia w wibroizacji [mm]	Sztywność wibroizacji	
	35 kN/mm	70 kN/mm
Średnia	0,6-0,7	0,7-2
Maksymalne	1,4	2,3

Tab. 2. Aktywna powierzchnia kontaktu podkładu z wibroizacją z ziarnami tłucznia [5]

Typ podkładów	Aktywna powierzchnia kontaktu podkładu z podsypką tłuczniową
wibroizacja o sztywności 35 kN/mm	41%
wibroizacja o sztywności 70 kN/mm	18%
bez wibroizacji	≤10%

ziarnami podsypki tłuczniowej. Model numeryczny wykazuje, że rozkład obciążenia w wyniku zastosowania wibroizolacji ulega zmianie, przy obciążeniu wynoszącym 220 kN w nawierzchni podsypkowej bez wibroizolacji o rozstawie podkładów, co 60 cm obciążenie przenoszone jest przez 8 podkładów. Przy zastosowywaniu wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładów generowane obciążenie przenoszone jest przez 13 podkładów rys. 4. co jest oczywistą konsekwencją zastosowania sprężystej odształcalnej warstwy wibroizolacyjnej na spodniej powierzchni podkładu.

Dla nawierzchni o podkładach strunobetonowych z SPP typu SLS 1308G o sztywności statycznej wynoszącej $0,13 \text{ N/mm}^3$ oraz grubości elastomeru 8 mm maksymalne naprężenia wynoszą $0,45 \text{ N/mm}^2$, dla nawierzchni z podkładami strunobetonowymi z SPP typu SLB 3007 G o sztywności statycznej $0,3 \text{ N/mm}^3$ i grubości 7 mm maksymalne naprężenia wyniosły $0,72 \text{ N/mm}^2$. Dla porównania w nawierzchni bez wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładów naprężenia wyniosły $2,96 \text{ N/mm}^2$.

Redukcja naprężenia w wyniku zastosowania SPP wynosiła odpowiednio 85 % i 76 % w porównaniu z nawierzchnią bez wibroizolacji. Efektem zastosowania Sprężystej Podpory Podkładu jest redukcja naprężenia, która zależy od grubości i sztywności statycznej materiału.

Analiza rozkładu naprężenia wykazuje zwiększenie powierzchni na którą oddziałują naprężenia w wyniku zastosowania wibroizolacji przyczyniając się do redukcji zużycia elementów nawierzchni kolejowej. Rozkład obciążenia na poziomie szyn w wyniku zastosowania wibroizolacji w podkładach strunobetonowych potwierdzony został przy wykorzystaniu modelu toru opracowanego z wykorzystaniem metody elementów skończonych (MES). Model MES nawierzchni kolejowej o podkładach z wibroizolacją i bez wibroizolacji na spodniej powierzchni wykazuje, że naprężenia w podsypce tłuczniowej w wyniku zastosowania wibroizolacji o grubości 10 mm (rys. 6) przenoszone są na większą powierzchnię

w porównaniu do konstrukcji bez SPP rys. 5.

W modelu MES nawierzchni kolejowej zastosowano wibroizolację grubości 10 mm o sztywności $0,13 \text{ N/mm}^3$. Zastosowanie wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładów wykazało redukcję maksymalnych naprężeń wynoszącą 85 % w porównaniu z modelem nawierzchni bez SPP. Dodatkowo w wyniku zastosowania wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładu uzyskano równomierny rozkład naprężeń w nawierzchni kolejowej.

Wnioski końcowe

Zastosowanie wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych wpływa na redukcję drgań nawierzchni kolejowej wywołanych przejazdem pociągu. Wibracje w nawierzchni kolejowej wywołane przejazdem pociągu zwiększają degradację konstrukcji torowiska. Zabudowa podkładów wyposażonych w Sprężyste Podpory Podkładów pozwala na uzyskanie redukcji drgań. Obniżenie wibracji nawierzchni w wyniku zastosowania wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładu spowodowane jest tym, że do konstrukcji nawierzchni wprowadza się element sprężysty o ustalonych parametrach sztywności statycznej, sztywności dynamicznej, grubości oraz typie materiału (tworzywa). Dodatkowo ziarna podsypki tłuczniowej odciskają się w sprężystej warstwie materiału wibroizolacyjnego zwiększając nawet czterokrotnie powierzchnię kontaktu podkładu z podsypką tłuczniową powodując zmniejszenie naprężenia w podsypce o 73-85 % w porównaniu z nawierzchnią bez SPP na spodniej powierzchni podkładów. Należy pamiętać, że o skuteczności tłumienia wibracji decydują parametry techniczne materiału antywibracyjnego, takie jak sztywność statyczna, dynamiczna, grubość warstwy sprężystej oraz typu materiału (tworzywa).

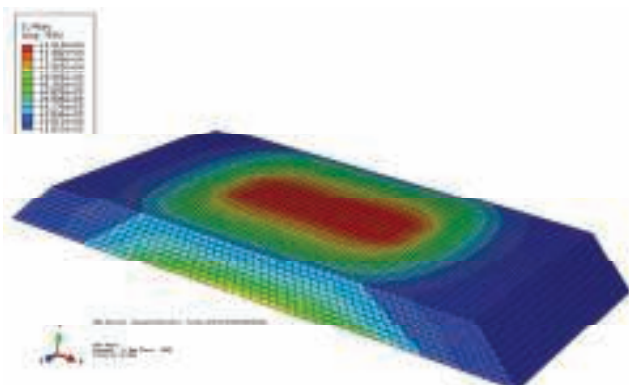
Aktualny stan wiedzy na temat stosowania wibroizolacji na liniach kolejowych w Unii Europejskiej wykazuje, że nie stosuje się Sprężystych Podpór Podkładów o gru-

bości mniejszej niż 7 mm. Według wytycznych stosowania na kolejach niemieckich minimalna grubość warstwy sprężystej w budowie SPP wynosi 10 mm, a na kolejach austriackich 7 mm. Nie prowadzono badań eksploatacyjnych i brak jest doświadczeń na temat zrealizowanych inwestycji kolejowych wprowadzających materiały o grubości mniejszej niż 7 mm. Ze względu na charakterystykę pracy w nawierzchni kolejowej, Sprężysta Podpora Podkładu umożliwiającą zagłębienie się ziaren podsypki tłuczniowej, nie powinna mieć grubości mniejszej niż 7 mm.

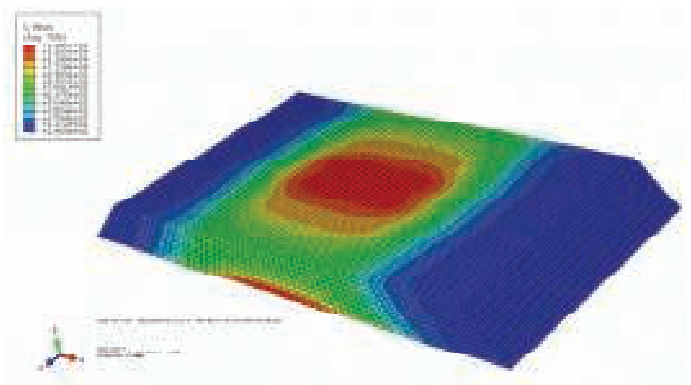
Uzyskane w badaniach laboratoryjnych i numerycznych pozytywne efekty zastosowania Sprężystych Podpór Podkładów były wyznaczane dla materiału o grubości 7 mm oraz 10 mm. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Kwiatkowska E.: Nawierzchnia kolejowa z izolacją antywibracyjną, Logistyka 3/2015,
- [2] Kwiatkowska E.: Ocena wpływu konstrukcji nawierzchni kolejowej na propagację w podtorzu kolejowym drgań generowanych przez pociąg typu Pendolino ED 250, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, nr 2, s. 237-246, 2014 r.,
- [3] Loy H.: Under Sleeper Pad in Turnouts, European rail technology review, s. 35-38, 2/2009,
- [4] Norma BN 918 145,
- [5] Sleepers with sole pads, Vortrag WCRR 2001, Müller-Borutta, Frank H., Kleinert, Ullrich: Innovative Ballasted Track: Concrete Sleepers with Sole Pads,
- [6] Raport z badań: Test on Under Sleepers Pads DIN 45673-6:2010, Technische Universität München, 01.2014.
- [7] Materiały Getzner



5. Rozkład naprężenia na poziomie podsypki tłuczniowej przy nawierzchni bez wibroizolacji na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych [1]



6. Rozkład naprężenia na poziomie podsypki tłuczniowej przy nawierzchni z wibroizolacją na spodniej powierzchni podkładów strunobetonowych [1]