

Przekładki podszytowe i podpłytkowe o indywidualnie projektowanej sztywności

Resilient pads with custom designed stiffness



Igor Gisterek

Dr inż.

Politechnika Wroclawska, Wydział
Budownictwa Lądowego i Wodnego;
Katedra Mostów i Kolei

igor.gisterek@pwr.edu.pl

Streszczenie: W pracy przytoczono przykłady stosowania wibroizolacji w dokumentacji projektowej. Przedstawiono metodykę badań oraz wyniki pomiarów charakterystyk sprężystych komponentów przytwierdzeń szyn w postaci przekładek podszytowych oraz przekładek podpłytkowych pod podkładką żebrową. Podkreślono wysoką precyzję projektowania i wykonawstwa podkładek sprężystych o określonej charakterystyce. Wskazano niedociągnięcia krajowego prawodawstwa w tym zakresie. W podsumowaniu określono pożądane kierunki zmian tego niekorzystnego stanu rzeczy.

Słowa kluczowe: Przekładka szynowa; Kolej; Tor kolejowy

Abstract: The paper deals with examples of using vibration insulation in project documentation. The research methodology and the results of measurements of elastic characteristics of rail fastening components in the form of rail pads and baseplate pad was presented. High precision of designing and manufacturing of elastic elements with a specific characteristic was emphasized. Shortcomings of national legislation in this area have been pointed out. In the summary, the desired directions of changes in this unfavorable situation were defined.

Keywords: Resilient pad; Railway; Railway track

Prowadzone ciągle inwestycje w zakresie infrastruktury transportu szynowego miejskiego i dalekobieżnego zmuszają inwestorów, projektantów i wykonawców do znajdowania kompromisów pomiędzy optymalizacją kosztów przedsięwzięcia a zachowaniem odpowiadającego dzisiejszym normatywom i oczekiwaniom niskiego poziomu emisji drgań i hałasu. Konieczne staje się stosowanie nowych technologii oraz komponentów zarówno przy projektowaniu nowych obiektów infrastruktury szynowej, jak i przy modernizacji konstrukcji istniejących. W tym drugim przypadku szczególnie istotne stają się ograniczenia przestrzenne, powiązane z bliskim sąsiedztwem zabudowy, historycznym ukształtowaniem przebiegu tras w terenie intensywnie zagospodarowanym czy obecnością obiektów podziemnych. Racjonalny jest więc taki dobór zastosowanych technologii i

materiałów, żeby zminimalizować ich koszty zakupu i utrzymania w całym okresie eksploatacji, przy jednoczesnym zachowaniu wysokich parametrów eksploatacyjnych.

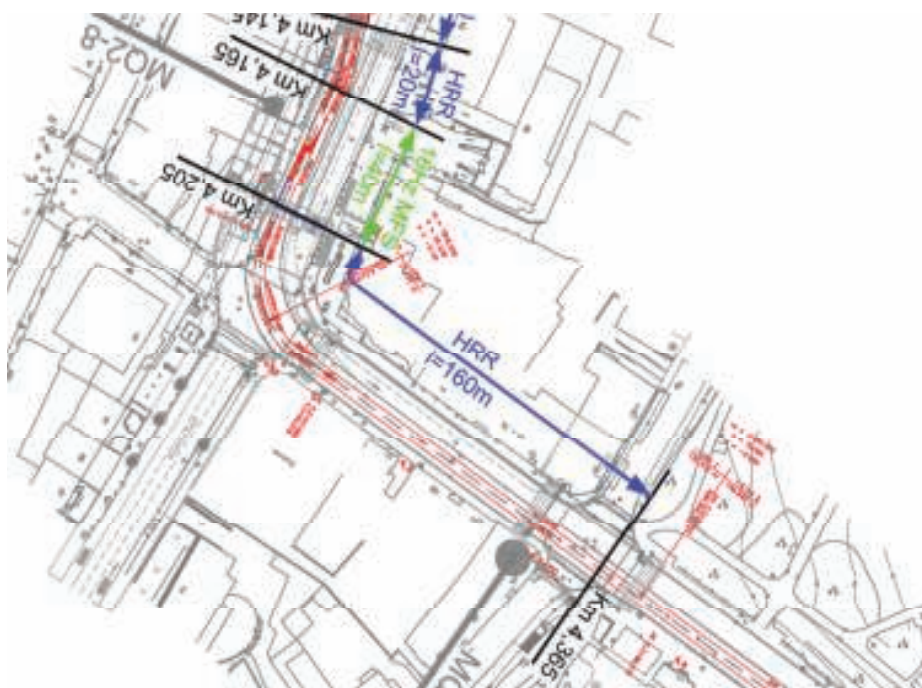
Dobór rodzaju nawierzchni – przykład pozytywny

W roku 2015 rozpoczęto prace budowlane przy nowej linii tramwajowej w Luksemburgu. Kluczowe etapy projektu, postęp prac oraz inne istotne dane podawano w dość szczegółowych opracowaniach do wiadomości publicznej [10]. Jednym z opracowań przygotowawczych było określenie stanu zabudowy ulic stanowiących korytarz, którym miała przebiegać projektowana linia tramwajowa, w celu doboru odpowiednich środków ochrony. W obszernym tomie [4] wskazano algorytm postępowania, który zdaniem autora może służyć jako

wzorcowy dla wszystkich tego typu inwestycji. W jego pierwszej części opisano pokrótce różnice i zależności między drganiami, hałasem pierwotnym i hałasem wtórnym, następnie wskazano kilka dostępnych metod obniżania tych oddziaływań. Część druga zawiera opis dwóch stanowisk pomiarowych: w Luksemburgu, w 20 wytypowanych wcześniej punktach pomiarowych, oraz w Brukseli, przy torze referencyjnym podczas przejazdu tramwajów. Na tym etapie zidentyfikowano już miejsca wymagające szczególnej ochrony (np. filharmonia), jak i elementy toru generujące zwiększone oddziaływania (rozjazdy, łuki o małych promieniach). W trzecim etapie zaproponowano rozmieszczenie konkretnych środków ochronnych, zarówno w formie tabelarycznej, jak i planów sytuacyjnych. Fragment tabeli z opisem punktów pomiarowych pokazano na rys. 1, natomiast rys. 2

Projekt: Lutzerath		Erschließungstechnische Untersuchungen										Datum: 15.8.2011		Seite: 18		
Meas. nummer	Bau	Adresse	rechner. gemessene Längenausdehnung	Bauwerks- typ	Bau- art	Erhöhe- rung	Umschlag	Umschlag- richtung	Umschlag- zeit	Umschlag- weg	Umschlag- höhe	Umschlag- art	Umschlag- art	Umschlag- art	Umschlag- art	Umschlag- art
MQ2-01		1, place de la Gare	002-01	Beton	0	13,8 m	✓	Beton	02.10.10	01	0,10	01	01	01	01	01
MQ2-02		31, av. de la Liberté	002-02	Winkelstütze	0	5,7 m	✓	Beton	02.10.10	01	0,10	01	01	01	01	01
MQ2-03		10, av. de la Liberté	002-03	Absenker	0	5,7 m	✓	Beton	02.10.10	01	0,10	01	01	01	01	01
MQ2-04		41, av. de la Liberté	002-04	Winkelstütze	0	5,7 m	✓	Beton	02.10.10	01	0,10	01	01	01	01	01
MQ2-05		10, av. de la Liberté	002-05	Einmündung	0	5,7 m	✓	Beton	02.10.10	01	0,10	01	01	01	01	01

1. Tabelaryczny opis punktów pomiarowych przy projektowanej trasie tramwaju w Luksemburgu, za [4]



2. Proponowane rozmieszczenie specjalnych konstrukcji toru w projektowanej trasie tramwaju w Luksemburgu, za [4]

przedstawia wycinek planu sytuacyjnego z naniesionymi rozwiązaniami, gdzie HRR oznacza High Resilient Rail (szynę o zwiększonej podatności podparcia), zaś 16Hz MFS – Masse Feder System (system masowo – sprężysty o częstotliwości własnej wynoszącej 16Hz).

W grudniu 2017 oddano do użytku pierwszy fragment trasy, pomiędzy położoną w północno – wschodniej części miasta zajezdnią, a stacją kolejową Pfaffenthal – Kirchberg, zaś po zakończeniu budowy w 2021 tramwaje mają kursować od lotniska do Cloche d’Or, zatem realizacja projektu nadal trwa.

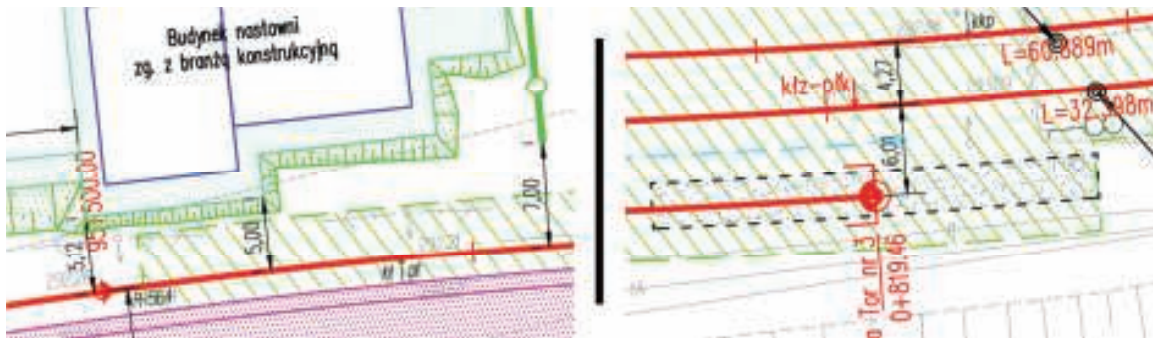
Dobór rodzaju nawierzchni – przykład mniej pozytywny

W roku 2017 wykonano dokumentację projektową przebudowy układu torowego jednej ze stacji kolejowych w południowej Polsce. Zdaniem autora, doboru środków ochrony przed drganiami i hałasem dokonano w niej arbitralnie, nie oglądając się na założone efekty, tylko sugerując zastosowanie konkretnego produktu obecnego na rynku. Przedstawiony w niej tok postępowania nie wydaje się właściwy zarówno pod względem ograniczania doboru samej konstrukcji toru („jako

najskuteczniejsze [...] przewidziano rozwiązanie w postaci bezpośredniej izolacji poziomej – zabudowę mat podtłuczniowych”) czy materiału wibroizolacyjnego i jego struktury („należy zastosować jednorodny, spieniony elastyczny poliuretan”; „rowki lub wewnętrzne jamy nie są dopuszczalne”). Wątpliwości budzi również rozmieszczenie przestrzenne projektowanych mat: nie zastosowano ich na obiekcie mostowym o konstrukcji blachownicowej, położonym w odległości około 20m od pierzei kamienic; mata urywa się na długości projektowanego budynku nastawni, odległego ok. 7m od osi toru na zewnątrz dość ciasnego łuku, za to jej ułożenie jest przewidziane pod torem odstawczym zakończonym kołłem oporowym, a nawet poza nim, mimo że projekt nie wspomina o jego przyszłym przedłużeniu (rys. 3).

Na tej podstawie można założyć, że rodzaj i zasięg projektowanego rozwiązania nie były przedmiotem pogłębionej analizy. Należy wnioskować, że skoro nie założono jasno określonego efektu ograniczenia oddziaływań na budowlę w pobliżu torów, niemożliwa będzie również właściwa ocena efektów funkcjonowania wdrożonych rozwiązań, co w zasadzie czyni całe przedsięwzięcie wątpliwym z inżynierskiego punktu widzenia. Zawarte w powyższym akapicie rozważania są nieaktualne, jeżeli dostarczona do analizy dokumentacja była niepełna lub została później uzupełniona dodatkowymi opracowaniami, nieznanymi autorowi podczas powstawania niniejszej pracy.

Porównanie dwóch powyższych przykładów prowadzi do wniosku, że właściwym trybem projektowania rozwiązań ochrony wibroizolacyjnej jest rozpoznanie stanu istniejącego, założenie pożądanych efektów w postaci utrzymania poziomu drgań i hałasu poniżej określonych wartości, a następnie - w razie konieczności - dobór konkretnego rozwiązania w postaci ulepszonej nawierzchni torowej lub dodatkowej infrastruktury przytorowej. Niestety, często praktykowane jest postępowanie odwrotne, w którym bazuje się na parametrach drugorzędnych (grubość maty wibroizolacyjnej, sztywność statyczna i dynamiczna, współczynnik przeszywnienia, wska-



3. Fragmenty omawianego w tekście rysunku planu, kreskowaniem w kolorze zielonym zaznaczono zasięg układania maty wibroizolacyjnej

zanie konkretnego tworzywa itp.), natomiast wartości liczbowe efektów tłumieniowych pozostają nieokreślone, czyli liczy się fakt zastosowania określonego rozwiązania, a nie jego skuteczność.

Nowe podejście – projektowanie sztywności przekładek

Jak wskazano w przykładach zamieszczonych we wprowadzeniu, dobór właściwego rozwiązania wibroizolacyjnego jest zagadnieniem wieloaspektowym, o znacznym stopniu złożoności oraz wymagającym szeroko zakrojonego frontu prac przygotowawczych. Nie mniej istotny jest właściwy algorytm postępowania, w wyniku którego otrzymuje się skuteczne rozwiązanie. Tymczasem złożoność zagadnień związanych z właściwym doбором ochrony wibracyjnej stale wzrasta. Stosunkowo nowym zjawiskiem na rynku jest możliwość indywidualnego zaprojektowania sztywności zarówno przekładki podszynowej, jak i przekładki podpłytkowej (tj. umieszczonej między podkładką żebrową, stanowiącą płytę przytwierdzenia, a podkładem).

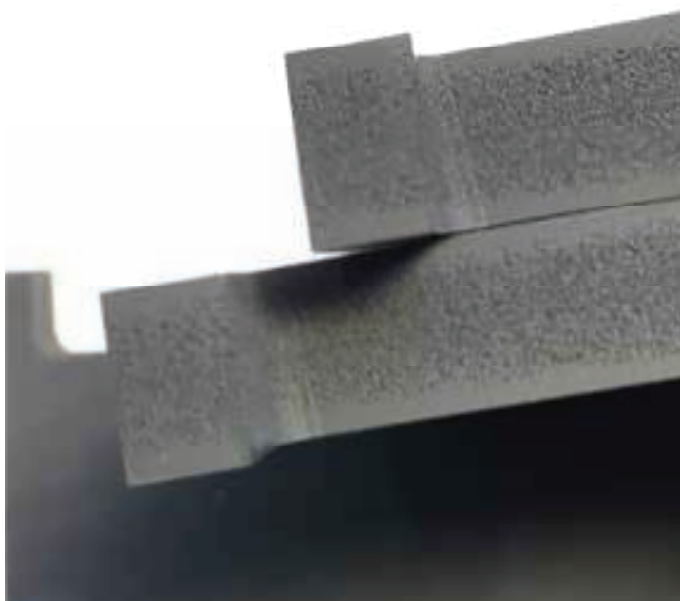
Dotychczasowe podejście opiera się na stosowaniu przytwierdzenia jako systemu. Klasyczny sposób doboru rozwiązania to użycie Tabeli 3.2 w przepisach [11], a następnie przejście do standardów technicznych zawartych w Załączniku 2 przepisów [8], Tabele 1- 6. W zależności od standardu technicznego nawierzchni, dostępne rodzaje przytwierdzeń to SB, SK1 i K, bez wskazania konkretnych kryteriów doboru elementów składowych tych systemów mocowania szyn do podkładów. Tymczasem, ze względu na zarówno postępującą specjalizację

linii kolejowych, od prowadzenia lekkiego ruchu pasażerskiego z dużą częstością, po linie obciążone intensywnym ruchem towarowym, celowe wydaje się wdrożenie pomocniczych kryteriów dla wspomaganie bardziej precyzyjnego doboru poszczególnych składowych. Dość nieprecyzyjny zapis zawarty w rozdz. II par. 3 przepisów [8]: „Standard konstrukcyjny nawierzchni określa minimalne wymagania techniczne dla materiałów konstrukcyjnych dla danej klasy torów, to jest: typ szyn, podkładów i przytwierdzeń, maksymalny rozstaw podkładów oraz minimalną grubość warstwy podsypki pod podkładem, a także parametry techniczne wymienionych materiałów” można rozumieć intuicyjnie w przypadku rozstawu podkładów czy grubości podsypki, ale jak porównać minimalne wymagania techniczne przytwierdzeń SB i SK1? Drugim faktem rodzącym pewne trudności jest stopniowe wyewoluowanie z rozwiązań bazowych całych rodzin produktów, mających wspólny lub zbliżony kształt, lecz zupełnie różne charakterystyki, czego standardy techniczne zupełnie nie uwzględniają. Kolejnym zagadnieniem jest coraz szybciej postępujący rozwój nowych i unowocześnionych zagranicznych konstrukcji komponentów toru, w tym przytwierdzeń, które jak do tej pory nie są obecne na rynku krajowym. Cały ten nie do końca klarowny tok postępowania stanowi poważną barierę dla wprowadzania nowych rozwiązań i sprzyja raczej konserwatywnemu schematyzmowi projektowemu.

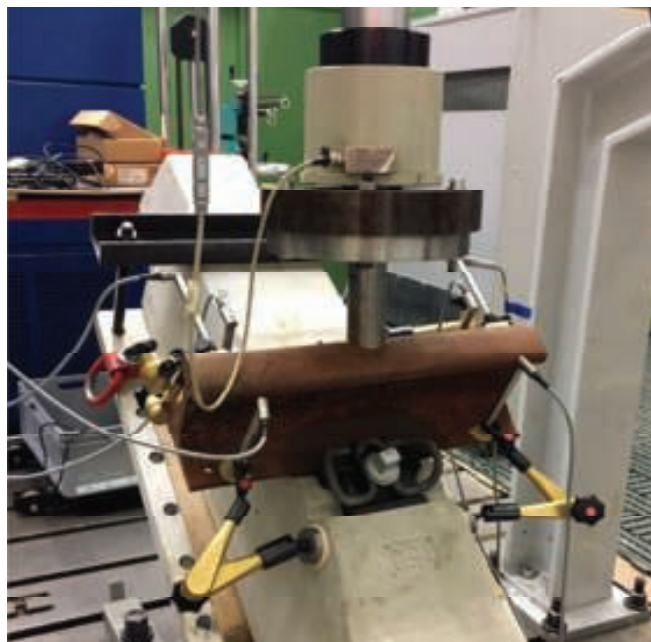
Postęp w technologii materiałowej tworzyw sztucznych umożliwia obecnie realizowanie elementów o stosunkowo niewielkich rozmiarach, których

charakterystyka może być precyzyjnie projektowana. Dotyczy to zarówno właściwości mechanicznych materiału, takich jak sztywność czy wydłużenie, ale też jego wewnętrznej struktury w postaci odpowiednio rozmieszczonych mikropęcherzyków o pożądanej średnicy. Najwyższą powtarzalność struktury daje obecnie druk trójwymiarowy, jednak ze względu na koszty technologia ta nie ma dziś zastosowania przy wytwarzaniu setek tysięcy powtarzalnych akcesoriów kolejowych. Natomiast umiejętne sterowanie procesem wytwarzania i przetworstwa tworzyw sztucznych pozwala na zachowanie wystarczająco wysokiej powtarzalności wyrobów, przy możliwości oferowania całego typoszeregu elementów powstających ze wspólnego surowca. Przykładem mogą być przekładki podszynowe oraz przekładki podpłytkowe pod podkładką żebrową wykonane ze spienionego EPDM (polimer z monomerów etylenowo-propylenowo-dienowych).

Według danych producenta [5], materiały te mogą być stosowane w zasadzie we wszystkich rodzajach transportu szynowego, od ruchu tramwajowego do kolei dużych prędkości, dzięki możliwości niemal indywidualnego doboru sztywności przekładki podszynowej w szerokim zakresie od 20 do 200 kN/mm, a przekładki podpłytkowej od 5 do 60kN/mm. Łączne stosowanie obu tych rodzajów przekładek daje szeroki wachlarz kombinacji, co pozwala na możliwie efektywne tłumienie drgań szyn we wskazanych pasmach tercjowych, a przez to niwelowanie niekorzystnego oddziaływania na otoczenie. Należy jednak wspomnieć, że zastosowanie w zasadzie wszystkich technik wibroizolacji toru



4. Widok boczny przekładki podszykowej ze spienionego EPDM, za [5]



5. Stanowisko pomiarowe do badań zmęczeniowych przekładek, za [1]

powoduje w konsekwencji zwiększone ugięcia szyn, co może w nich powodować przyspieszone powstawanie wad, w szczególności zmęczeniowych [3]. Trwałość charakterystyk materiałowych opisywanych przekładek oraz ich przydatność niezależnie od wpływu czynników środowiskowych musiała zostać potwierdzona stosownymi badaniami, które opisano poniżej.

Badania laboratoryjne przekładek

Trwałość charakterystyk materiałowych

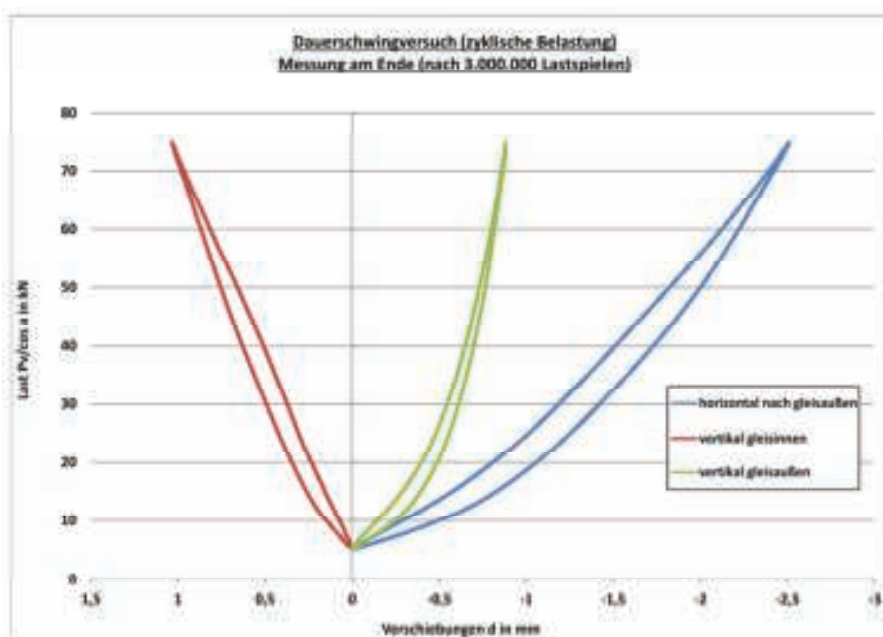
produktów jest jedną z ich najważniejszych cech. Prowadzi ona do niezmienności pracy konstrukcji toru jako całości podczas całego okresu jego wieloletniej eksploatacji. Istotne jest, aby parametry materiałów, zwłaszcza sprężystych, nie zmieniały się znacząco również pod wpływem działania niskich i wysokich temperatur czy wilgotności. Dlatego zlecenia klientów, chcących dokładnie sprawdzić swoje wyroby, czasami przekraczają wymogi normowe zawarte w opracowaniu [6] czy [9]. W przytoczonych przepisach

szczególnie interesujący jest sposób wyznaczania sztywności statycznej $C_{stat 18/68}$ gdzie w ujęciu graficznym stanowi ona sieczną wykresu krzywej obciążania w pętli histerezy pomiędzy wartościami 18 i 68kN, z których wartość minimalna jest traktowana jako ekwiwalent obciążenia przekładki dociśnięciem sprężyn przytwierdzenia, zaś maksymalna pochodzi z przemnożenia siły projektowej 85kN przez współczynnik 0,8 [1].

W opracowaniu [1] zaprezentowano metodę pomiarową oraz wyniki badań przekładek podszykowych. W ramach testów określono:

- statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej,
- dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej,
- stopień zmęczenia materiału po 3 mln cykli,
- ponownie statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym,
- ponownie dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym.

Badania prowadzono w rzeczywistym przytwierdzeniu typu SkI (fot. 5) oraz w prasie hydraulicznej. W toku pomiarów stwierdzono, że współczynnik przeszywnienia dynamicznego dla trzech badanych częstości drgań, tj. 5, 10 i 20Hz pozostaje niezmienny i wynosi 1,1 co jest wartością korzystną (war-



6. Przykładowy wykres zależności przemieszczenie – obciążenie po 3 mln cykli, badanie na stanowisku z fot. 5. Kolorem niebieskim pokazano przemieszczenie poziome na zewnątrz toru, czerwonym – pionowe do wnętrza toru, zielonym – pionowe na zewnątrz toru, za [1]

tość dopuszczalna wynosi aż 1,5).

Ze względu na metodę pomiarową, w której przez ukośne ułożenie szyny pod siłownikiem uzyskuje się symulację sił pionowych i poziomych oddziałujących na przekładkę, możliwy jest jednoczesny pomiar przemieszczeń w kierunku pionowym na zewnątrz toru, pionowym wewnątrz toru oraz poziomym na zewnątrz toru. Innymi słowy, przez przyłożenie siły do główki szyny pod odpowiednim kątem szyna jest obracana w przytwierdzeniu. Przykładowy wykres, obrazujący zależność przemieszczenie – obciążenie po badaniu zmęczeniowym, pokazano na rys. 6.

W wyniku pomiarów stwierdzono, że badanie zmęczeniowe nie miało istotnego wpływu na charakterystykę podkładki – stwierdzono zwiększenie sztywności statycznej o zaledwie 1,7% przy dopuszczalnej wartości wynoszącej 15%. Również porównanie sztywności dynamicznych przed i po badaniu prowadzi do wniosku, że wymagania normowe zachowane są z bardzo dużym zapasem.

W opracowaniu [2] zaprezentowano metodę pomiarową oraz wyniki badań przekładek podpłytkowych. W ramach testów określono:

- statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej, 50, 0, -10 i -20°C,
- dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej dla 5, 10 i 20Hz,
- dynamiczną sztywność pionową w temperaturze 50, 0, -10 i -20°C przy 10Hz,
- stopień zmęczenia materiału po 3 mln cykli,
- ponownie statyczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym,
- ponownie dynamiczną sztywność pionową w temperaturze pokojowej po badaniu zmęczeniowym.

Badania prowadzono w prasie hydraulicznej, stosując odpowiednie otuliny w postaci papieru ściernego. Wyniki pomiarów statycznych dowodzą, że wpływ temperatury na sztywność przekładki jest istotny - zmienia się ona w zakresie od ok. 32kN/mm przy

-20°C, do 22kN/mm przy 50°C, cały czas pozostając w granicach wartości dopuszczalnych. W wyniku pomiarów dynamicznych stwierdzono, że współczynnik przeszywnienia dynamicznego również jest powiązany z temperaturą otoczenia, przyjmując wartości od 1,72 przy -20°C, do 1,00 przy 50°C. Również i te wartości swobodnie mieszczą się w dopuszczalnych granicach.

Podsumowanie

Coraz częściej spotyka się projekty, w których wykorzystanie elementów i systemów wibroizolacji jest przemyślane, oszczędne, celowe i skuteczne. Kierunek ten należy ocenić jako słuszny z dwóch powodów: po pierwsze, rośnie świadomość społeczna dotycząca ochrony budowli i osób przed szkodliwym działaniem drgań i hałasu. Po drugie, obecnie modernizowana i budowana infrastruktura dróg szynowych bardzo często przebiega przez tereny intensywnie zurbanizowane, gdzie oczekuje się poziomów emisji o znacznie mniejszych wartościach, niż na szlakach pozamiejskich. Naprzeciw oczekiwaniom rynku wychodzą producenci, którzy potrafią w bardzo precyzyjny sposób kształtować właściwości swoich wyrobów. Niestety, mimo ciągłego postępu i doskonalenia, zarówno po stronie producentów, jak i kadr projektowych, zdarzają się przedsięwzięcia budowlane, gdzie umieszcza się wibroizolację bez zrozumienia istoty jej działania czy pogłębionej analizy nakładów i korzyści.

Przedstawione w pracy przykłady badań laboratoryjnych pokazują, że rynek rodzimy nie nadąża za postępem płynącym z innych krajów. Przede wszystkim brakuje wystarczająco jasnych zasad i wytycznych stosowania specjalnych komponentów toru i infrastruktury przytorowej, w tym środków ochrony wibracyjnej. Dla ratowania sytuacji importowane są opracowania zagraniczne, jednak nie tworzą one spójnej całości i nie wyczerpują w sposób wystarczający tego w znacznym stopniu złożonego zagadnienia. Nie wskazuje się również podstawowego celu stosowania tych środków: utrzymanie negatywnego wpływu drgań

i hałasu na ludzi i budynki poniżej wartości dopuszczalnych. Szczegółowe opracowania czy wyprzedzające symulacje skuteczności wykonywane są tylko w bardzo nielicznych przypadkach, brakuje też zapisanego w dokumentacji wymogu dokonywania poprawek tak długo, aż zostaną osiągnięte założenia projektowe. ◀

Materiały źródłowe

- [1] Fengler W., Sami Elmaci M.: Bericht 17.11a: Ermittlung der Dauerfestigkeit einer elastischen Zwischenlage Zw 1000 (Calenberg) an einem Stützpunkt in Anlehnung an [DBS 918 235]. TU Dresden, 05.2017
- [2] Freudenstein S., Nottbeck A.: Bericht nr 3562: Prüfung der statischen und dynamischen Steifigkeiten von Zw 104-NT nach DBS 918 235:2017, TU Munchen, 04.2017
- [3] Geisler K., Freudenstein S., Molter T., Missler M., Stolz Ch.: Ballastless tracks. John Wiley and Sons, 2018
- [4] Heiland D., Mistler M.: Bau einer ca. 10 km langen Straßenbahnlinie in Luxemburg - Erschütterungstechnische Untersuchung, Abschnitt 2 und 3. Raport, 2011
- [5] Civicell (Zw) und Ciplacell (Zwp), Zwischenlagen und Zwischenplatten für hochelastische Schienenbefestigungssysteme. Materiał informacyjny Calenberg Ingenieure, 04.2016
- [6] Deutsche Bahn Standard DBS 918 235
- [7] DIN 45673: Mechanical vibration – Resilient elements used in railway tracks
- [8] Id-1 (D-1). Warunki techniczne utrzymania nawierzchni na liniach kolejowych. PKP PLK 2005, ze zm. 2015
- [9] PN-EN 13146-9+A1:2012: Kolejnictwo – Tor – Metody badań systemów przytwierdzeń - Część 9: określenie sztywności
- [10] Rapport d'activite 2015, 2016. www.luxtram.lu, dostęp 03.2018
- [11] Rozporządzenie MTiGM w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie. Dz.U.151 z 1998, ze zm. 2014