

PODKŁADKI PODPODKŁADOWE W PODSYPKOWEJ KONSTRUKCJI NAWIERZCHNI DRÓG SZYNOWYCH – TECHNICZNE I FORMALNE ASPEKTY STOSOWANIA¹

Cezary KRAŚKIEWICZ, Wojciech OLEKSIEWICZ, Artur ZBICIAK
Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

W artykule przedstawiono klasyfikację grupy wyrobów określanych jako izolatory wibroakustyczne i stosowanych w budowie i naprawach dróg szynowych w celu ograniczenia niekorzystnych oddziaływań generowanych przez ruch pojazdów szynowych po torze (wibracje i hałas). Na tle podstawowej klasyfikacji izolatorów wibroakustycznych opisano ich charakterystyczne, istotne właściwości (cechy funkcjonalne i eksploatacyjne) dotyczące jednego z rodzajów tych izolatorów, tj. podkładek podpodkładowych (USP – skrót od ang. Under Sleeper Pads) stosowanych w podsypkowych konstrukcjach dróg szynowych. Dla tego rodzaju wyrobów opisano aktualne aspekty formalno-prawne stosowania podkładek podpodkładowych w procedurach zamówień publicznych uwzględniające zmiany wynikające z wprowadzenia w tej dziedzinie polskiej normy oraz związanych z tym problemów powoływania w procedurach przetargowych Aprobatach technicznych. Przedstawiono także wprowadzanie właściwych metod badań służących do określania wartości parametrów istotnych z uwagi na cele stosowania izolatorów wibroakustycznych. Dodatkowo zaprezentowano przykłady normatywnej metody badania podkładek podpodkładowych stosowanej na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej i wybrane wyniki takich badań.

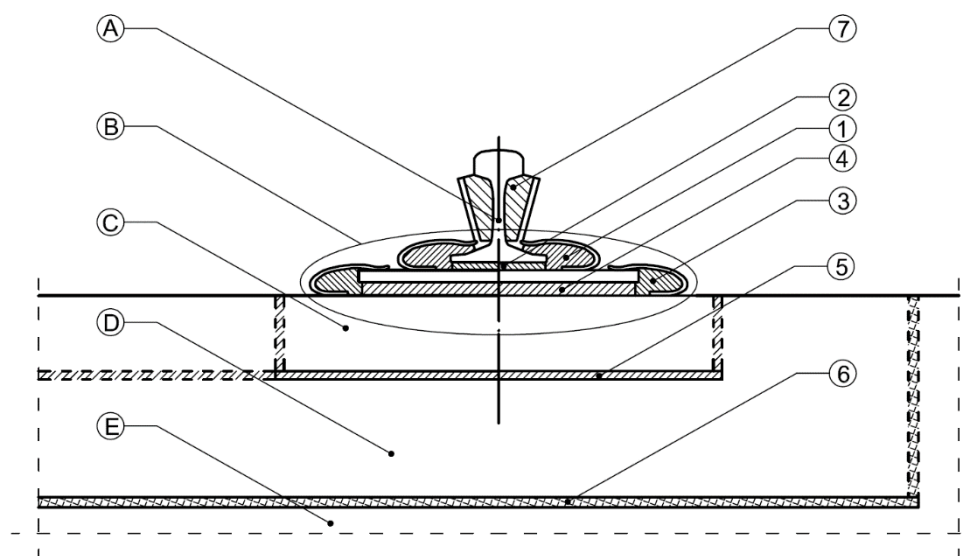
Słowa kluczowe: systematyka izolatorów wibroakustycznych, badania podkładek podpodkładowych, podsypkowa konstrukcja nawierzchni szynowej, redukcja wibracji i hałasu.

1. WSTĘP

Izolatory wibroakustyczne są to elementy sprężyste stosowane w konstrukcji dróg szynowych głównie w celu redukcji niekorzystnych oddziaływań w postaci wibracji i hałasu generowanych przez ruch pojazdów szynowych po torze. Do elementów tych należą pojedyncze wyroby lub ich zespoły, zróżnicowane pod względem materiałowym i ich położenia w systemie konstrukcyjnym dróg szynowych oraz głównej funkcji dotyczącej drgań materiałowych pionowych i poprzecznych (wibracji) lub dźwięków powietrznych (hałasu). Stosowane w praktyce rozwiązania konstrukcyjne dróg szynowych obejmują rozmaite elementy spełniające funkcje izolatorów wibroakustycznych i jednocześnie funkcje mechaniczne zapewnia-

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.25.17

jące bezpieczną i trwałą eksploatację dróg szynowych, stanowiących takie elementy konstrukcyjne, jak przytwierdzenia szyn, podpory szynowe lub sprężyste podłoża sztywnych elementów nośnych [7].



Rys. 1. Strefy występowania izolatorów wibroakustycznych w konstrukcji dróg szynowych. Oznaczenia elementów składowych konstrukcji drogi szynowej: A – szyna; B – system przytwierdzenia; C – podpora szynowa (C.1. – podkład belkowy w nawierzchni podsypkowej lub C.2. – blok podporowy lub podbudowa węzła kotwiącego w nawierzchni bezpodsypkowej); D.1. – podsypka w nawierzchni podsypkowej lub D.2. - betonowa płyta podbudowy w nawierzchni bezpodsypkowej; E – podtorze

Strefy występowania izolatorów wibroakustycznych w konstrukcji dróg szynowych przedstawiono na rysunku 1 (linią przerywana oznaczono alternatywne położenia izolatorów wibroakustycznych), zgodnie z którym mogą one stanowić następujące elementy składowe tych konstrukcji:

1. sprężyste mocowanie w systemie przytwierdzenia stopki szyny: łapki sprężyste lub masa zalewowa,
2. sprężyste podparcie w systemie przytwierdzenia stopki szyny: przekładka podszynowa, ciągły lub punktowy profil podszynowy albo podlew,
3. sprężyste mocowanie do podpory szynowej lub podbudowy węzła kotwiącego: łapki sprężyste, śruby kotwiące ze sprężyną śrubową,
4. sprężyste podparcie na podporze szynowej lub podbudowie węzła kotwiącego: podkładka wibroizolacyjna, podlew punktowy,
5. sprężyste podparcie i mocowanie podpory szynowej (podkładu belkowego lub bloków podporowych): podkładka podpodkładowa, podkładka podblokowa, masa podlewowa i masa zalewowa,

6. sprężyste podparcie i mocowanie nawierzchni torowej: mata wibroizolacyjna podtłuczniowa lub podpłytkowa – które to elementy łącznie ze spoczywającą na nich konstrukcją nawierzchni torowej stanowią tzw. system masy odsprężynowanej,
7. zabudowa komór łukowych szyn (głównie w celu tłumienia hałasu): masy zalewowe lub profile przyszynowe.

W dalszej części artykułu skupiono się wdrażanych w ostatnich latach również w Polsce podkładkach podpodkładowych (element nr 5 na na rys. 1), czyli wyrobach stanowiących sprężyste podparcie podpory szynowej w postaci podkładu belkowego w nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej.

2. TECHNICZNE UWARUNKOWANIA STOSOWANIA PODKŁADEK PODPODKŁADOWYCH

Podkładki podpodkładowe – określane często skrótem USP² (od ang. *Under Sleeper Pads*) są stosowane w nawierzchni szynowej o konstrukcji podsypkowej w celu zmniejszenia dynamicznych oddziaływań od ruchu pojazdów szynowych, przekazywanych od kół pojazdów poprzez toki szynowe, system przytwierdzenia, podporę szynową (podkład lub podrozdnicę) na podsypkę tłuczniową. Podkładki podpodkładowe należy stosować szczególnie w miejscach, gdzie:

- z uzasadnionych przyczyn nie jest możliwe uzyskanie odpowiedniej grubości warstwy podsypki pod podkładami lub podrozdnicami np. na obiektach inżynierskich o ograniczonej niwelecie (funkcja ochronna podsypki przed jej przyspieszonym rozkruszaniem),
- z uwagi na specyficzne warunki eksploatacyjne istnieje konieczność zabezpieczenia nawierzchni przed przyspieszoną degradacją (przeciwdziałanie odkształceniom toru),
- konieczne jest dostosowanie sztywności nawierzchni – głównie na strefach przejściowych pomiędzy podłożem o różnej sztywności,
- konieczne jest zabezpieczenie obiektów budowlanych sąsiadujących z linią kolejową przed nadmiernymi drganiami wywołanymi eksploatacją nawierzchni szynowej (funkcja wibroizolacyjna).

Podkładki podpodkładowe mogą pokrywać całościowo powierzchnię dolną podkładu lub występować tylko częściowo w strefie podszykowej (rys. 2 i 3).



Rys. 2. Podkładka podpodkładowa USP – całościowe pokrycie powierzchni dolnej podkładu

² W niektórych publikacjach można też spotkać ich żargonowe określenie „zelówki”



Rys. 3. Podkładka podpodkładowa USP – częściowe pokrycie powierzchni dolnej podkładu (w strefie głównego przekazywania nacisków pionowych)

Wiele oferowanych wariantów grubości oraz sztywności podkładek USP pozwala je stosować w szerokim zakresie obciążeń i prędkości pojazdów szynowych przy różnych rozwiązaniach nawierzchni o konstrukcji podsypkowej. Kryteriami wyboru konkretnej odmiany podkładek podpodkładowych jest dopuszczalna wartość ugięcia szyny i częstotliwość drgań własnych obiektów, które należy chronić przed destrukcyjnym wpływem wibracji od przejazdu pociągów.

Podkładki podpodkładowe są produkowane z materiałów elastomerowych (najczęściej w zakresie grubości 5 – 20 mm [6]) i występują w dwóch odmianach materiałowych:

- I. podkładki na bazie poliuretanu w odmianach z porami zamkniętymi lub otwartymi,
- II. podkładki gumowe (kompozytowe na bazie mieszanek kauczuku naturalnego lub/i kauczuku syntetycznego), których sprężystość zapewniona jest przez kształt (kanaliki, rowki lub różnego kształtu wypustki) i strukturę przekroju podkładki (gęstość i objętość porów).

Podkładki podpodkładowe mocowane są do spodu podkładów i podrozdnic zasadniczo strunobetonowych, a niekiedy również drewnianych. Podkładki podpodkładowe przeznaczone do zamocowania w trakcie procesu produkcji podkładów lub podrozdnic strunobetonowych składają się z dwóch warstw: warstwy ochronnej z geosyntetyku (zapewniającego przyczepność podkładki do podkładu oraz chroniącego podstawową warstwę sprężystą przed mechanicznym uszkodzeniem przez ostro krawędziowe ziarna tłucznia) oraz podstawowej warstwy sprężystej z materiału elastomerowego nadającego podkładce odpowiedni poziom sztywności.

Mocowanie podkładki podpodkładowej do podkładu może odbywać się na dwa sposoby:

- w trakcie procesu produkcji podkładów lub podrozdnic strunobetonowych poprzez umieszczenie na dolnej ich powierzchni nie stwardniałego jeszcze betonu podkładki podpodkładowej, a następnie poddaniu podkładu / podrozdnic krótkim wibracjom, co spowoduje wniknięcie geosyntetyku w plastyczny jeszcze beton,
- na gotowym podkładzie / podrozdnicy poprzez przyklejenie podkładki podpodkładowej przy wykorzystaniu szybko twardniejącego i wiążącego kleju np. epoksydowego (dodatkowo istnieje możliwość przyklejania podkładek podpodkładowych do spodu podkładów po ich przetransportowaniu na miejsce budowy, co stanowi dodatkową ochronę podkładek przed ewentualnymi ich mechanicznymi uszkodzeniami powstałymi w czasie transportu).

3. FORMALNE ASPEKTY STOSOWANIA PODKŁADEK PODPODKŁADOWYCH W PROCEDURACH ZAMÓWIEŃ PUBLICZNYCH

W procedurach przygotowania inwestycji budowlanych w dziedzinie dróg szynowych istotne jest spełnienie nie tylko wymagań technicznych wynikających głównie z charakterystyk funkcjonalnych i eksploatacyjnych budowanych lub remontowanych odcinków tras kolejowych, tramwajowych i metra, lecz także z wymagań formalno-prawnych wynikających m.in. z Prawa zamówień publicznych (Pzp). Ta ogólna zasada przekłada się na potrzebę ujednoczenia charakterystyk technicznych podkładek podpodkładowych istotnych z punktu widzenia ich zasadniczych funkcji spełnianych w konstrukcji dróg szynowych w takich dokumentach, jak dokumentacja projektowa, a zwłaszcza *Specyfikacje techniczne wykonania i odbioru robót* (STWiORB), *Specyfikacja istotnych warunków zamówienia* (SIWZ) lub *Program funkcjonalno-użytkowy* (PFU). W wypadku wymienionych powyżej dokumentów charakterystyki techniczne podkładek podpodkładowych mają charakter określonych wymagań techniczno-funkcjonalnych dotyczących cech materiałowych (parametrów fizyczno-wytrzymałościowych) najbardziej istotnych dla spełnienia przez podkładkę jej zasadniczych funkcji, które można ogólnie określić jako:

- a. Jak najbardziej skuteczna wibroizolacja polegająca na maksymalnej redukcji poziomu oddziaływań w postaci wibracji i hałasu wtórnego oraz dodatkowo w zwiększeniu ochrony otoczenia danej trasy komunikacyjnej przed wpływem prądów błądzących.
- b. Znacząca redukcja naprężeń występujących w warstwie podsypki poprzez zwiększenie pola powierzchni kontaktu pomiędzy spodem podkładu i warstwą podsypki, zapewniająca tej warstwie zwiększoną stabilność i trwałość, a w wypadku zastosowania podkładek podpodkładowych w rejonie obiektu inżynierskiego wpływająca korzystnie również na trwałość konstrukcji tych obiektów.
- c. Zwiększona trwałość eksploatacyjna polegająca na utrzymaniu zdolności do długotrwałego spełniania funkcji wymienionych powyżej w pkt. a i b, w realnych warunkach eksploatacyjnych, co jest związane z ograniczoną do max. 20% zmiennością wartości głównych parametrów określonej podczas laboratoryjnych badań zmęczeniowych przeprowadzanych w warunkach symulujących ekstremalne obciążenia eksploatacyjne.

Powyższe ogólne określenia funkcji spełnianych przez podkłady podpodkładowe w konstrukcji dróg szynowych wymagają przypisania im konkretnych wymagań technicznych w postaci mierzalnych parametrów stanowiących podstawę oceny jakościowej poszczególnych produktów oferowanych na rynku i podstawę wyboru takich produktów przez Inwestora zgodnie z jego potrzebami technicznymi i z zasadami Pzp. Zgodność z tymi zasadami jest teoretycznie zapewniona przez ustalone procedury postępowania o udzielenie zamówienia publicznego. W proce-

durach tych istotną rolę spełniają normy stosowane w Opisach przedmiotu zamówienia (Opz) do określania jednolitych dla wszystkich oferentów wymagań jakościowych dostarczanych wyrobów i wymagań dotyczących warunków przeprowadzania badań potwierdzających spełnianie ustalonych warunków jakościowych.

Zgodnie z art. 30 Pzp Zamawiający opisuje przedmiot zamówienia przez odniesienie się (w kolejności preferencji) m.in. do Polskich Norm przenoszących normy europejskie, europejskich ocen technicznych i dopiero w przypadku braku takich dokumentów odniesienia mogą być uwzględniane Polskie Normy, polskie Aprobaty techniczne i inne – wyszczególnione w art. 30, ust. 3 - dokumenty.

Powyższe uregulowania wynikają z Ustawy z dnia 22 czerwca 2016 r. o zmianie ustawy – Prawo zamówień publicznych oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. poz. 1020). W tym samym okresie nastąpiły także zmiany wprowadzone Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17.11.2016 r. w sprawie krajowych ocen technicznych (Dz. U., z 6.12.2017 r. poz. 1968) [13] wpływające na praktyczną realizację procedur przetargowych. Zmiany te spowodowały zastąpienie Aprobatek technicznych wprowadzając w ich miejsce Krajowe oceny techniczne i zmieniając zakres uprawnień jednostek badawczych związanych z wystawianiem dokumentów takiej oceny dla poszczególnych wyrobów. Niestety nie zawsze skutki tych zmian znajdują właściwe zastosowanie w treści Opz na niektóre wyroby zamawiane do konstrukcji nawierzchni szynowych i w treściach tych Inwestorzy stawiają wymagania wykazania się Aprobata techniczną pomimo, że nie wszystkie wyroby powinny podlegać takiemu wymogowi.

W przypadku podkładek podpodkładowych stosowanych w drogach szynowych polska norma przenosząca normę europejską i dedykowana dla tego właśnie wyrobu, tj. PN-EN 16730 [12] została wprowadzona dopiero w sierpniu 2016 r. Do tego czasu nie istniała ani polska, ani europejska norma, a jedynie krajowa norma niemiecka DIN 45673-6 [5], która jednak nie spełniała kryteriów Pzp, ponieważ nie ma ona statusu normy krajowej przenoszącej normę europejską. Dlatego też producenci podkładek podpodkładowych występowali do Instytutu Kolejnictwa o wydanie Aprobatek technicznych, której wymagania mogłyby stanowić podstawę do wystawiania deklaracji zgodności przy wprowadzaniu wyrobu budowlanego do obrotu rynkowego. Wydawane dotychczas Aprobatek techniczne dla podkładek podpodkładowych w zakresie wartości parametrów oraz procedur badawczych odnosiły się głównie do normy DIN 45673-6 [5] i/lub Technicznych warunków dostaw podkładek podpodkładowych niemieckiego zarządcy infrastruktury kolejowej Deutsche Bahn BN 918 145-01/02 [2]. Jednakże od momentu ustanowienia polskiej normy PN-EN 16730 [12] Aprobatek techniczne wydawane do końca 2016 r. i tym samym krajowe oceny techniczne (od początku 2017 r.) - nie mają już zastosowania, gdyż były one wydawane tylko dla wyrobów, dla których nie istniała polska norma.

Należy nadmienić, że niemiecka norma DIN 45673-6 [5] została wycofana również z zastosowania na terenie Niemiec przez niemiecki organ normalizacyjny [14] i zastąpiona przez normę EN 16730.

Ponadto zgodnie z decyzją Ministra Infrastruktury i Budownictwa nr 1/KJOT/WB/17 z dnia 13.03.2017 r. i załącznikiem do tej decyzji Instytut Kolejnictwa w ustalonym dla niego zakresie właściwości do wydawania krajowych ocen technicznych nie ma wykazanych podkładek podpodkładowych. Potwierdza ten fakt również stanowisko Ośrodka Jakości i Certyfikacji Instytutu Kolejnictwa zawarte na piśmie (nr IK.Q-431/987/2017 z dnia 25.08.2017 r.) wystosowanym do jednego z krajowych producentów w odpowiedzi na wniosek o wydanie krajowej oceny technicznej. Oznacza to, że żaden nowy producent podkładek podpodkładowych oraz producent, którego Aprobata techniczna straciła ważność nie może już otrzymać Aprobaty technicznej czy też krajowej oceny technicznej. Dlatego też w dokumentacjach przetargowych nie powinny pojawiać się wymagania posiadania Aprobaty technicznej lub krajowej oceny technicznej. Konkluzją przedstawionego stanu formalno-prawnego dotyczącego stosowania na rynku podkładek podpodkładowych jest stwierdzenie, że w procedurach zamówień publicznych dotyczących podkładów z podkładkami podpodkładowymi powinny być stosowane deklaracje producenta (lub producentów) odnoszące się do wskazanych norm dotyczących tych wyrobów.

Należy nadmienić, że wprowadzona w 2016 r. norma PN-EN 16730 [12] zgodnie z aktualnymi trendami w normalizacji nie określa wymagań jakościowych (tj. wymaganych wartości parametrów), a jedynie określa jednolite procedury badawcze służące do wyznaczenia wartości parametrów ustalanych przez Zamawiającego. Dlatego też to zadaniem Zamawiającego – czyli w przypadku polskiej sieci kolejowej – spółki PKP PLK – jest określenie wymaganych wartości parametrów np. w formie wewnętrznej instrukcji.

W procedurach przetargowych opartych na Pzp wymagane jest stwierdzenie możliwości stosowania wyrobów równoważnych, co z kolei wymaga określenia kryteriów oceny równoważności opartych na ustalonych wymaganiach dotyczących konkretnych cech funkcjonalnych i przypisanych do nich sparymetryzowanych charakterystyk materiałowych ustalonych przez Zamawiającego. Ustalenie wymagań dla danego wyrobu następuje na podstawie dokumentacji projektowej (STWiORB), w której projektanci, kierując się zwykle informacjami producenta opisują wymagania, za pomocą właściwości nie zawsze istotnych z punktu spełnienia wymagań zasadniczych przypisanych do danego wyrobu [8 i 10]. Ponadto wartości parametrów opisujących te właściwości określane są często na podstawie różnych norm zagranicznych oraz innych zagranicznych specyfikacji technicznych, często specyficznych tylko dla kraju producenta. Uniemożliwia to w praktyce obiektywne porównanie i ocenę produktów oferowanych jako równoważne i tym samym prawidłowy wybór produktu. Może to prowadzić Zamawiającego do podejmowania decyzji niezgodnych z art. 29 ust.3 Pzp, tj. przez wskazanie znaków towarowych, patentów lub pochodzenia, zamiast opisanie przedmiotu zamówienia za pomocą dostatecznie dokładnych określeń, opatrzonego sformułowaniem dopuszczającym stosowanie wyrobów równoważnych przy jednoznacznym określeniu parametrów oceny równoważności. W praktyce występuje jednak brak jasno sprecyzowanych wymagań w stosunku do izolatorów wibroakustycznych – w tym również podkładek podpodkładowych

USP - stosowanych w konstrukcji dróg szynowych, co skutkuje niemożliwością jednoznacznej oceny równoważności takich wyrobów. To z kolei prowadzi do sporów w rozstrzygnięciu postępowań przetargowych (odwołania od decyzji komisji przetargowych, rozprawy przed KIO, przedłużenie procedury przetargowej skutkujące przedłużeniem całości procesu realizacji inwestycji).

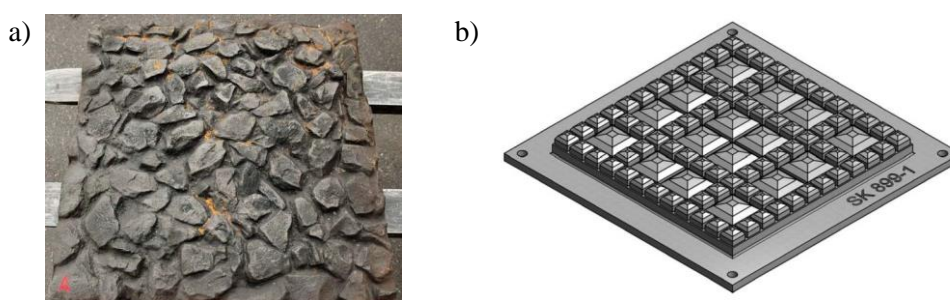
Przedstawione uwarunkowania prawidłowego przebiegu procesu inwestycyjnego potwierdzają pilną potrzebę określenia najistotniejszych właściwości (parametrów) dla elementów wibroizolacyjnych stosowanych w drogach szynowych i ujednoczenia w skali krajowej wymagań technicznych dla badania tych parametrów. Dotychczasowy brak właściwych przedmiotowo Polskich Norm zastępowanych Aprobatami technicznymi był negatywnie związany z brakiem opracowania przez upoważnione jednostki aprobacyjne jednolitych zaleceń dotyczących udzielania Aprobaty technicznej (obecnie krajowej oceny technicznej), czyli tzw. ZUA-Tu, dla tego rodzaju wyrobów. Podstawowe jednostki posiadające takie uprawnienie dotyczące wyrobów stosowanych w nawierzchni kolejowej i w torowiskach tramwajowych – tj. Instytut Kolejnictwa (IK) i Instytut Badawczy Dróg i Mostów (IBDiM) dotychczas nie opracowały niestety odpowiednich ZUAT, co spowodowało, że wydane Aprobaty techniczne m.in. dla podkładek podpodkładowych dla różnych producentów zawierają różne wymagania [8], najczęściej zgodne z właściwościami opisanymi w kartach technicznych poszczególnych producentów tych wyrobów, załączonymi do wniosku o wydanie Aprobaty technicznej.

Niniejszy referat stanowi przyczynek do zmiany tej niekorzystnej sytuacji i przedstawia najistotniejsze właściwości oraz metody ich badania dotyczące jednego produktu z całej grupy izolatorów wibroakustycznych stosowanych w konstrukcjach dróg szynowych, tj. dla podkładek podpodkładowych USP.

4. CHARAKTERYSTYKI FIZYCZNO-MATERIALOWE PODKŁADEK PODPODKŁADOWYCH I METODY ICH BADANIA

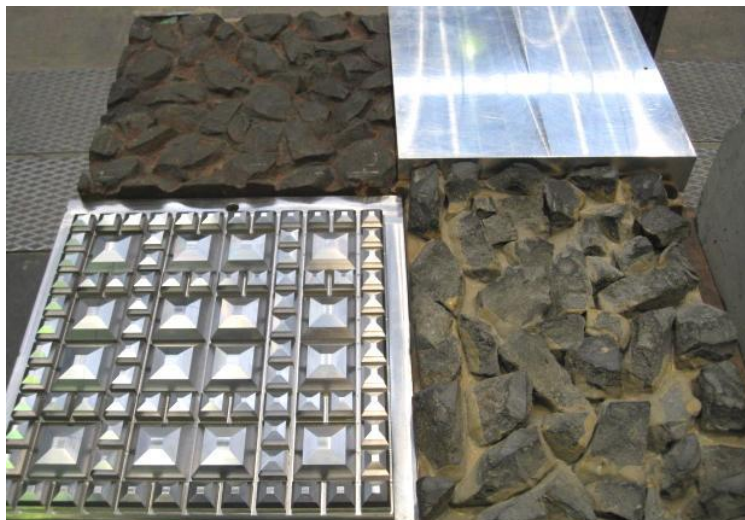
Do sierpnia 2016 r. w zakresie badania podkładek podpodkładowych posługiwano się przede wszystkim procedurami badawczymi zawartymi w krajowej normie niemieckiej DIN 45673-6 [5] i/lub Technicznych warunkach dostaw podkładek podpodkładowych niemieckiego zarządcy infrastruktury kolejowej Deutsche Bahn BN 918 145-01/02 [2]. Warto nadmienić, że zarówno norma niemiecka jak i niemieckie warunki dostaw dla podkładek USP opierały się na badaniach wykonywanych na próbkach o wymiarach 300 x 300 x 210 mm za pomocą stalowej profilowanej płyty dociskowej/obciążeniowej NSP (skrót od niem. *Normschotterplatte* – pol. normowej płyty imitującej tłuczeń) pokazanej na rysunku 4a, której nieregularna powierzchnia miała za zadanie oddanie charakteru pracy podkładki podpodkładowej w torze o konstrukcji podsypkowej – tzn. współpracy z ostrymi ziarnami podsypki. Jednakże płyta ta zgodnie z wymaganiami normy niemieckiej

w rzeczywistości stanowiła żeliwny odlew górnej powierzchni warstwy ochronnej torowiska, gdzie występuje kruszywo o innych wymiarach oraz o znacznie mniej ostrych krawędziach. Dlatego też badania wykonywane z wykorzystaniem płyty NSP nie oddawały charakteru pracy podkładki podpodkładowej oraz cechowały się znacznymi rozrzutami wyników ze względu na trudności w centralnym ułożeniu próbki pod nierównoległą i niesymetryczną płytą dociskową. W celu uniknięcia tych problemów w normie PN-EN 16730 [12] zastosowano znormalizowaną i symetryczną płytę GBP – skrót od ang. *Geometric Ballast Plate*, której kształt (rys. 4b), a nawet rodzaj stali zostały jednoznacznie określone.



Rys. 4. Płyty dociskowe/obciążeniowe do badania podkładek podpodkładowych [1]: a) profilowana niesymetrycznie płyta NSP zgodna z wymaganiami DIN 45673-6 [5] oraz BN 918 145-01/02 [2], b) schemat profilowanej symetrycznie płyty GBP zgodnej z wymaganiami PN-EN 16730 [12]

Badania wykonywane na Uniwersytecie Technicznym w Monachium [6] wyraźnie wykazały, że próbki podkładek podpodkładowych o tych samych wymiarach (300 x 300 mm) badane w identycznych zakresach obciążeń oraz przy identycznych częstotliwościach obciążeń (dla badań dynamicznych), ale z użyciem czterech różnych typów płyt dociskowych/obciążeniowych (rys. 5) będą się charakteryzować zdecydowanie rozbieżnymi wynikami. Wartości statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki względem wartości zmierzonych za pomocą płyty NSP mogą wynosić dla profilowanych płyt symulujących kontakt z ziarnami podsypki -tj. GBP i TUM-P (stosowanej na Uniwersytecie Technicznym w Monachium – skrót od niem. *Technische Universität München - Platte*; powierzchnia oddaje wymiary i ostre krawędzie ziaren podsypki w postaci tłuczniwa kamiennego) nawet ok. 200%, zaś dla płyty o płaskiej powierzchni (EP – skrót od niem. *Ebenen Platte*) nawet do ok. 1200%. Dlatego też niezbędne jest, aby wyroby, które zostały już przebadane na podstawie norm i wytycznych niemieckich przeszły nowe badania zgodnie z normą PN-EN 16730 [12] z użyciem płyty dociskowej GBP oraz na próbkach o wymiarach 250 x 250 mm, gdyż wyników na podstawie norm i wytycznych niemieckich nie można w żaden sposób odnosić do wyników na podstawie nowej normy PN-EN 16730 [12].



Rys. 5. Typy płyt dociskowych/obciążeniowych stosowanych do badania podkładek podpodkładowych [6]: a) lewy górny róg: profilowana niesymetrycznie płyta NSP zgodna z wymaganiami DIN 45673-6 [5] oraz BN 918 145-01/02 [2]; b) lewy dolny róg: profilowana symetrycznie płyta GBP zgodna z wymaganiami PN-EN 16730 [12]; c) prawy górny róg: płaska płyta EP; d) prawy dolny róg: profilowana niesymetrycznie płyta TUM-P

Procedury badania podkładek podpodkładowych opisuje norma PN-EN 16730 [12], która nie określa jednak wymaganych wartości parametrów, pozostawiając to zarządcom infrastruktury szynowej, którzy najlepiej znają swoją sieć i potrzeby z tego wynikające (np. konieczność ochrony przed wibracjami lub zwiększenie trwałości podsypki tłuczniowej). Międzynarodowy Związek Kolejowy UIC proponuje na podstawie własnych badań i doświadczeń [1] podział podkładek podpodkładowych w zależności od wartości statycznego modułu sztywności podkładki (tab. 1) oraz następujące obszary/cele zastosowania podkładek podpodkładowych USP z uwzględnieniem ich odmian (tab. 2) – odmiana bardzo podatna nie jest rekomendowana do stosowania i została pominięta w tabeli 2.

Tab. 1. Podział podkładek podpodkładowych USP na odmiany ze względu na wartość statycznego modułu sztywności podkładki (patrz podrozdział 4.1) wg zaleceń UIC [1]

Odmiany USP:	Statyczny moduł sztywności podkładki:
Sztywna (ang. <i>Stiff</i>)	$0.25 \text{ N/mm}^3 < C_{stat} \leq 0.35 \text{ N/mm}^3$
Półsztywna (ang. <i>Medium stiff</i>)	$0.15 \text{ N/mm}^3 < C_{stat} \leq 0.25 \text{ N/mm}^3$
Podatna (ang. <i>Soft</i>)	$0.10 \text{ N/mm}^3 < C_{stat} \leq 0.15 \text{ N/mm}^3$
Bardzo podatna (ang. <i>Very soft</i>)	$C_{stat} \leq 0.10 \text{ N/mm}^3$

Tab. 2. Obszary/cele zastosowania podkładek podpodkładowych USP z uwzględnieniem ich odmian wg zaleceń UIC [1].

Obszary/cele zastosowania USP	Podatna (ang. <i>Soft</i>)	Pólsztyna (ang. <i>Medium stiff</i>)	Sztyna (ang. <i>Stiff</i>)
Poprawa jakości (sprężystości) toru		+	+
Strefy przejściowe		+	+
Strefy zredukowanej grubości podsypki		+	+
Redukcja zużycia falistego szyn		+	+
Redukcja poziomu wibracji	+	+ -	

Opisane w normie niemieckiej DIN 45673-6 [5] procedury badawcze podkładek podpodkładowych USP są analogiczne do ogólnych zasad badań innych izolatorów wibroakustycznych objętych krajowymi niemieckimi normami i wymienionych w pierwszej z serii norm – tj. DIN 45673-1 [4]. Szczegółowe procedury badań wg norm niemieckich dla mat wibroizolacyjnych podtłuczniowych opisano w publikacjach [8 i 9], a dla mat wibroizolacyjnych podpłytkowych w publikacji [10]. Ze względu na brak możliwości dalszego stosowania normy niemieckiej DIN 45673-6 [5] w warunkach polskich (patrz poprzedni rozdział), w dalszej części rozdziału przedstawione zostaną tylko właściwości i procedury badane dla podkładek podpodkładowych na podstawie normy PN-EN 16730 [12].

Za wykaz badań jakie wykonuje się (obligatoryjnie lub opcjonalnie) dla podkładek podpodkładowych należy uznać właściwości przedstawione w tabelach 3 - 5 w normie PN-EN 16730 [12].

Wykaz badań dla samej podkładki podpodkładowej USP oraz podkładki podpodkładowej USP zamocowanej na betonowej kostce (zgodnie z PN-EN 16730 [12], tab. 3) obejmuje badania następujących wielkości:

- oznaczanie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu materiału podkładki podpodkładowej (opcjonalnie),
- statyczny i dynamiczny (dla niskich częstotliwości: 5, 10, 20 i 30 Hz) moduł sztywności podkładki dla podkładki podpodkładowej zamocowanej do kostki betonowej wyznaczone z użyciem płyty GBP (opcjonalnie dla 20 i 30 Hz),
- statyczny i dynamiczny (dla niskich częstotliwości) moduł sztywności podkładki dla samej podkładki podpodkładowej wyznaczone z użyciem płyty GBP (opcjonalnie),
- dynamiczny (dla wysokich częstotliwości) moduł sztywności podkładki dla podkładki podpodkładowej zamocowanej do kostki betonowej (opcjonalnie),
- wytrzymałość zmęczeniowa podkładki podpodkładowej zamocowanej do kostki betonowej,
- wytrzymałość zmęczeniowa podkładki podpodkładowej zamocowanej do kostki betonowej z użyciem płyty GBP (opcjonalnie),
- możliwości układania podkładów z podkładkami podpodkładowymi w stopy (przy użyciu przekładek np. z drewna) badane na podkładce podpodkładowej zamocowanej do kostki betonowej (opcjonalnie),

- odporność na warunki środowiskowe (zmiennie cykle temperaturowe: od $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$; w tym mrozoodporność) badane na podkładce podpodkładowej zamocowanej do kostki betonowej (opcjonalnie),
- odporność na działanie wody (opcjonalnie),
- odporność podkładów i podrozdnic na substancje chemiczne zawarte w podkładkach podpodkładowych (opcjonalnie),
- odporność na działanie ognia (opcjonalnie),
- odporność podkładek podpodkładowych na korozję (karbonatyzację betonu) podkładu lub podrozdnic (opcjonalnie),
- odporność na działanie ozonu (opcjonalnie).

Wykaz badań dla samego podkładu lub podrozdnic – tzn. bez podkładki podpodkładowej (zgodnie z PN-EN 16730 [12], tab. 4):

- obligatoryjne spełnienie wymagań stawianym samym podkładom lub podrozdnicom (bez podkładki USP) określonych w serii norm PN-EN 13230 [11].

Wykaz badań dla podkładu lub podrozdnic z zamocowaną podkładką podpodkładową (zgodnie z PN-EN 16730 [12], tab. 5):

- wymiary i waga podkładu lub podrozdnic z zamocowaną podkładką podpodkładową,
- wytrzymałość na odrywanie (przyczepność) podkładki podpodkładowej do podkładu lub podrozdnic,
- wytrzymałość zmęczeniowa podkładki podpodkładowej przymocowanej do podkładu (opcjonalnie),
- spełnienie krajowych wymagań dotyczących ochrony środowiska i wymagań dotyczących przydatności eksploatacyjnej podkładki podpodkładowej przymocowanej do podkładu (opcjonalnie).

Poniżej opisane zostaną wybrane z powyższych właściwości, które zdaniem Autorów można określić jako najistotniejsze z uwagi na wibroizolacyjną funkcję podkładek podpodkładowych.

4.1. Statyczny i dynamiczny moduł sztywności podkładki

Parametr ten zasadniczo określa skuteczność tłumienia transmisji drgań do otoczenia. Dla mniej podatnych podkładek podpodkładowych skuteczność ta będzie mniejsza niż dla podkładek o małych wartościach modułu sztywności. Jednak trzeba mieć na uwadze, że zastosowanie podkładki o bardzo małej wartości statycznego modułu sztywności, skutkuje większym ugięciem pionowym szyny. Wartość statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki zawiera się w szerokim przedziale wartości od $\sim 0,02\text{ N/mm}^3$ do $\sim 0,35\text{ N/mm}^3$. Zależy ona m.in. od rodzaju i struktury materiału, grubości podkładki, przedziału wartości obciążenia w jakim określany jest moduł sztywności podkładki oraz częstotliwości obciążeń w przypadku modułu dynamicznego.

4.1.1. Statyczny moduł sztywności podkładki C_{stat}

Stacyjny moduł sztywności podkładki jest stosunkiem statycznego nacisku o określonej wartości przyłożonego do próbki o określonym polu przekroju (naprężenia) do ugięcia próbki, które ten nacisk powoduje. Parametr ten charakteryzuje ugięcie toku szynowego pod naciskiem nieporuszającego się taboru i ma wpływ na ugięcie pionowe rusztu torowego. Wielkość statycznego modułu sztywności podkładki jest zależna od nacisku, nie jest to jednak zależność liniowa. Dlatego też jest określana dla różnych zakresów obciążeń w zależności od rozpatrywanego przeznaczenia zastosowania podkładki podpodkładowej: tramwaj, metro, kolej miejska i kolej. Zakresy te w zależności od parametrów eksploatacyjnych (maksymalna prędkość i naciski osiowe) są określone dla czterech kategorii toru (TC – skrót od ang. *Track Category*) – tzn. TC1, TC2, TC3 i TC4 zdefiniowanych w rozdziale nr 3 „Terminy i definicje” normy PN-EN 16730 [12].

Do badania używane są trzy próbki o wymiarach 250 mm x 250 mm x grubość podkładki lub 250 mm x 250 mm x (grubość próbki podkładki przyklejonej do betonowej kostki). Obciążenie próbki odbywa się w sposób pokazany na rysunkach 12 i 13. Bazując na zmierzonych ugięciach statyczny moduł sztywności podkładki powinien zostać obliczony w N/mm^3 dla piątego cyklu obciążenia jako moduł sieczny pomiędzy skrajnymi wartościami zakresu obciążeń, które podlegają ocenie.

4.1.2. Dynamiczny moduł sztywności podkładki C_{dyn}

Dynamiczny moduł sztywności podkładki jest stosunkiem dynamicznego nacisku o określonej wartości i częstotliwości przyłożonego do próbki o określonym polu przekroju do ugięcia próbki, które ten nacisk powoduje. Parametr ten charakteryzuje zatem pracę podkładki podpodkładowej pod naciskiem poruszającego się taboru, czyli wpływa na jej skuteczność redukcji transmisji drgań. Wartość dynamicznego modułu sztywności podkładki jest zależna nie tylko od nacisku, jak w przypadku statycznego modułu sztywności podkładki, ale również od częstotliwości cyklicznych obciążeń, dlatego też powinna być wyznaczana w warunkach znormalizowanego nacisku i częstotliwości podanych w normie PN-EN 16730 [12]. Wymiary próbki do badania dynamicznego modułu sztywności podkładki oraz sposób jej obciążenia są takie same jak przy badaniu statycznego modułu sztywności podkładki.

4.2. Współczynnik przeszywnienia dynamicznego

Współczynnik przeszywnienia dynamicznego określany jako stosunek dynamicznej do statycznej wartości modułu sztywności podkładki jest prostą do określenia i reprezentatywną miarą skuteczności tłumienia drgań materiałowych przez podkładki podpodkładowe. Ze względu na znaną właściwość elastomerów polegającą na znaczącym wpływie częstotliwości ich dynamicznego obciążenia na wartość wywołanego przez nie odkształcenia (tj. na sztywność lub na moduł sztywno-

ści) określany jest oddzielnie dla różnych częstotliwości (5, 10, 20 i 30 Hz). Współczynnik przeszywnienia dynamicznego jest określany według wzoru nr 1:

$$\kappa_{dyn}(f) = \frac{c_{dyn}(f)}{c_{stat}} [1]. \quad (1)$$

Wartość współczynnika przeszywnienia dynamicznego jest jednym z czynników charakteryzujących skuteczność tłumienia wibracji [3] zgodnie ze wzorem nr 2:

$$\Delta L = 40 \log(2 \cdot \pi \cdot f_{exc}) + 20 \log\left(\frac{m_s \cdot \bar{X}}{\kappa_{dyn} \cdot \Delta P}\right) [1], \quad (2)$$

gdzie:

ΔL – redukcja poziomu wibracji,

f_{exc} – częstotliwość wzbudzenia,

m_s – masa odsprężynowana – izolowana masa nawierzchni szynowej powiększona o nieresorowaną masę taboru przyjmowaną jako 10% masy całkowitej taboru,

\bar{X} – ugięcie szyny w wyniku obciążenia statycznego,

κ_{dyn} – współczynnik przeszywnienia dynamicznego,

ΔP – obciążenie taborem.

Ze wzoru tego wynika, że im bliższa jest jego wartość 1 (dla wartości $\kappa_{dyn}(f) > 1$), tym większa jest wartość ΔL , a więc większa jest skuteczność wibroizolacji badanego elementu (np. podkładki podpodkładowej).

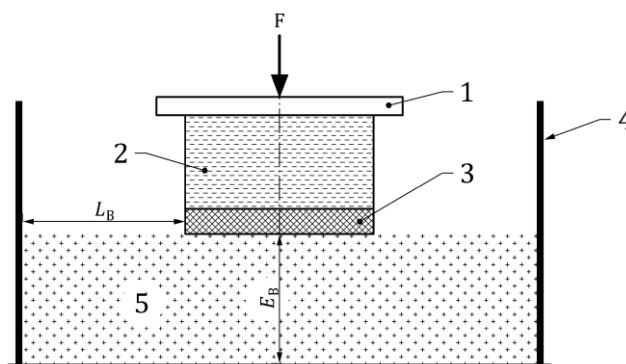
4.3. Trwałość eksploatacyjna podkładek podpodkładowych

Trwałość (zdatność) eksploatacyjną podkładek podpodkładowych ocenia się poprzez badanie ich mechanicznej wytrzymałości zmęczeniowej i wpływu długotrwałych obciążeń dynamicznych na zmienność ustalonych parametrów. Badanie to polega na trzystopniowym obciążeniu dynamicznym próbki podkładki przyklejonej do kostki betonowej (o wymiarach jak w badaniu statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki) symulującym w warunkach laboratoryjnych obciążenia eksploatacyjne. Obciążenia dynamiczne wywierane przez pulsator są sinusoidalnie zmienne z częstotliwością do 15 Hz i wywierane z siłą harmoniczną o wartościach z przedziału od 12 kN do 32 kN zależnych od (szczegółowe wartości są określone w tabeli D.1 normy PN-EN 16730 [12]):

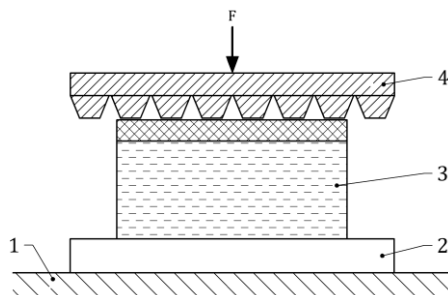
- przedziału wartości statycznego modułu sztywności badanej podkładki – wartości siły przyjmowane narastająco w zależności od wartości statycznego modułu sztywności badanej podkładki,
- kategorii toru TC – tzn. rodzaju drogi szynowej (podsystemu transportowego - tramwaj, metro, kolej miejska, kolej) – wartości siły przyjmowane narastająco w zależności od nacisku osi i prędkości,
- I, II lub III stopnia obciążenia (I - 2000 cykli; II - 2000 cykli; III – aż do łącznej liczby 3 mln. cykli).

Pozytywna ocena zdolności eksploatacyjnej badanej podkładki obejmuje stwierdzenie braku określanych wizualnie uszkodzeń mechanicznych podkładki takich jak np. jej zgniecenie, pęknięcia, rozerwania itp. oraz określenie na podstawie badania zakresu zmiany statycznego i dynamicznego (dla 5 Hz) modułu sztywności podkładki wywołanej obciążeniem dynamicznym. Ocena trwałości eksploatacyjnej podkładki – oceniana na podstawie jej wytrzymałości zmęczeniowej określonej m.in. poprzez zmianę statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki w funkcji przeniesionego obciążenia, ma przełożenie na spadek skuteczności właściwości tłumiących podkładki. Mając na uwadze nawierzchnię o konstrukcji podsypkowej wymiana podkładki podpodkładowej wiązałaby się z naprawą główną. Dlatego tak istotna jest ta właściwość dla Zarządców infrastruktury, którzy nie mogą sobie pozwolić na to, aby trwałość podkładki podpodkładowej odbiegała od trwałości pozostałych elementów nawierzchni. Przy doborze podkładki podpodkładowej w trakcie projektowania konstrukcji drogi szynowej należy brać pod uwagę wytrzymałość zmęczeniową oferowanego wyrobu. Nawet jeśli pozostałe właściwości podkładki są zadowalające, to niespełnienie wymagania dotyczącego wytrzymałości zmęczeniowej może spowodować, że w trakcie eksploatacji wartości modułów sztywności podkładki będą stosunkowo szybko wzrastać, co negatywnie wpłynie na spełnianie jednej z podstawowych funkcji podkładki, jaką jest wibroizolacja.

Norma PN-EN 16730 [12] opisuje procedurę badania wytrzymałości zmęczeniowej podkładki podpodkładowej w dwóch wariantach – bez użycia płyty GBP, ale z zastosowaniem stalowego koryta z tłuczniem (zasadę i oprzyrządowanie tego badania przedstawia rysunek 6) oraz z użyciem płyty GBP, ale bez zastosowania koryta z tłuczniem (zasadę i oprzyrządowanie tego badania przedstawia rysunek 7).



Rys. 6. Schemat położenia próbki na stanowisku do badania wytrzymałości zmęczeniowej podkładki podpodkładowej. Oznaczenia: 1 – płyta dociskowa/obciążeniowa, 2 – kostka betonowa, 3 – podkładka podpodkładowa USP, 4 – stalowe, nieodkształcalne koryto z tłuczniem, 5 – podsypka ($L_B \geq 200$ mm, $E_B \geq 200$ mm) [12]



Rys. 7. Schemat położenia próbki na stanowisku do badania wytrzymałości zmęczeniowej podkładki podpodkładowej. Oznaczenia: 1 – sztywne i nieodkształcalne podłoże/podparcie, 2 – stalowa płyta, 3 – podkładka podpodkładowa USP zamocowana do kostki betonowej, 4 – profilowana płyta dociskowa/obciążeniowa GBP [12]

4.4. Wytrzymałość na odrywanie (przyczepność)

Podkładka podpodkładowa jako element połączony z podkładem lub podrozjazdnicą w sposób trwały, bez względu na technologię montażu, musi mieć zapewnioną odpowiednią wartość wytrzymałości na odrywanie (przyczepności), aby podkładka nie oddzieliła się od podpory szynowej w trakcie transportu na miejsce zabudowy lub w trakcie jej wieloletniej eksploatacji. Schemat wymiarowania i rozmieszczenia punktów pomiarowych pokazuje rysunek 8a.

4.5. Odporność na warunki środowiskowe

Ze względu na przenikanie wód opadowych przez podsypkę i związany z tym destrukcyjny wpływ wody na materiał, z którego wykonana jest podkładka oraz biorąc pod uwagę klimat i związane z nim temperatury występujące w Polsce badanie podkładek podpodkładowych pod kątem ich odporności na działanie wody, mrozoodporności i wysokich temperatur jest jak najbardziej uzasadnione. Utrzymująca się przez co najmniej dwa tygodnie w okresie zimowym temperatura poniżej $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i jej oscylowanie w okolicy $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ nie są w naszym kraju rzadkością.

W badaniu tym przechowywana w wodzie przez 24 h przed badaniem próbka podkładki podpodkładowej przyklejona do betonowej kostki jest cyklicznie zamrażana do temperatury $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ w czasie 4 h i pozostaje w tej temp. przez 8 h, a następnie w czasie 4 h jej temp. zostaje podniesiona do temp. $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (przy wilgotności względnej 80%), w której pozostaje przez 8 h. Cały cykl trwa 24 h i należy przeprowadzić 7 pełnych cykli badań. Powyższa normatywna procedura badawcza odbiega pod względem warunków termicznych od ekstremalnych temperatur szyny przyjmowanych w przedziale od $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$, co jest uzasadnione położeniem podkładek podpodkładowych w warstwie podsypki bez kontaktu z szynami.

W przypadku badań odporności na warunki środowiskowe istotna jest zmiana (badana w okresie 1-2 tygodni od zakończenia badania) statycznego i dynamiczne-

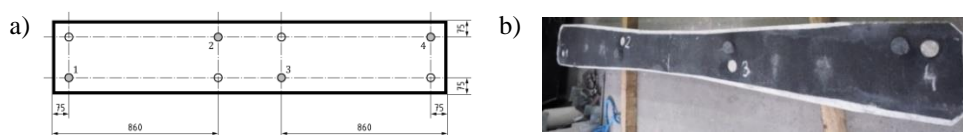
go (dla 5 Hz) modułu sztywności podkładki, brak uszkodzeń podkładki oraz odpowiednio wysoka wartość wytrzymałości na odrywanie (przyczepności) po badaniu.

5. OPIS STANOWISKA BADAWCZEGO NA POLITECHNICE WARSZAWSKIEJ ORAZ PRZYKŁADY WYZNACZANIA ISTOTNYCH PARAMETRÓW ZGODNIE Z NORMĄ PN-EN 16730

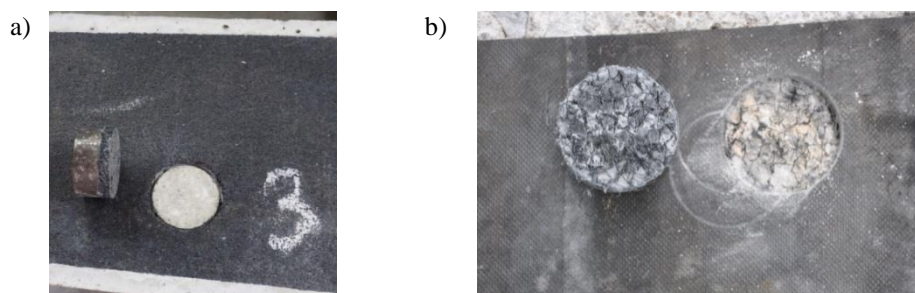
W rozdz. 4 przedstawiono parametry najistotniejsze dla oceny właściwości funkcjonalnych i wytrzymałościowych podkładek podpodkładowych, tj. dla oceny ich skuteczności tłumienia drgań oraz trwałości eksploatacyjnej.

Na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej istnieją stanowiska do badania wybranych spośród tych najistotniejszych właściwości podkładek podpodkładowych (USP). Na poniższych zdjęciach i wykresach zostaną przedstawione wybrane przykłady badań podkładek USP zrealizowanych zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 16730 [12].

Schemat wymiarowy rozmieszczenia punktów pomiarowych do badania wytrzymałości na odrywanie (przyczepności) pokazano na rysunku 8a. Podkład kolejowy strunobetonowy typu PS-94 z podkładką podpodkładową (USP) po badaniu wytrzymałości na odrywanie (przyczepności) pokazano na rysunkach 8b, 9a i 9b.



Rys. 8. Podkład z oznaczoną lokalizacją czterech punktów pomiarowych do badania przyczepności (nr: 1, 2, 3 i 4), których położenie wyznaczono zgodnie z normą PN-EN 16730 [12]: a) schemat wymiarowy rozmieszczenia punktów pomiarowych; b) podkład kolejowy strunobetonowy typu PS-94 po badaniu wytrzymałości na odrywanie (przyczepności)



Rys. 9. Badanie wytrzymałości na odrywanie (przyczepności) zgodnie z normą PN-EN 16730 [12]: a) zerwanie na styku geosyntetyku, będącego elementem podkładki podpodkładowej i materiału elastomerowego podkładki podpodkładowej (typ zniszczenia B/C); b) zerwanie na styku geosyntetyku, będącego elementem podkładki podpodkładowej i betonowego podłoża podkładu (typ zniszczenia B)

Zidentyfikowane podczas badań wymiarowych gotowego podkładu kolejowego z podkładką USP przykłady niezachowania wymaganej staranności, tj. prawidłowego wykonania, które powinno zapewniać symetryczność położenia podkładki i odległość od krawędzi podkładu w zakresie 5 – 15 mm [6] oraz przyczepność we wszystkich strefach na styku podkładki podpodkładowej i podkładu pokazano na rysunkach 10a i 10b. Przykłady te dotyczą niewłaściwego montażu podkładek na etapie produkcji. Podkładka podpodkładowa jest przymocowana do spodu podkładu w sposób niesymetryczny – odległość krawędzi podkładki podpodkładowej od krawędzi spodu podkładu jest zmienna i wynosi od 10 mm do 25 mm - rysunek 10a. Występowanie stref braku przyczepności na połączeniu pomiędzy podkładką podpodkładową, a podkładem (głównie w środkowej części podkładu) – rysunek 10b.



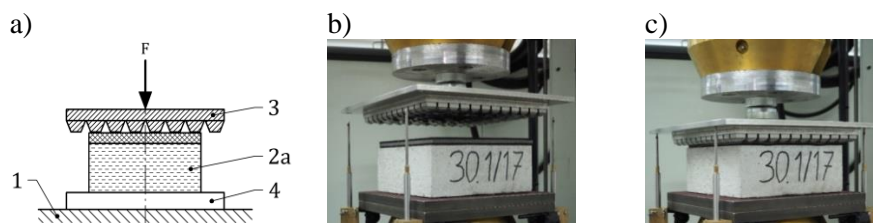
Rys. 10. Badania wymiarowe gotowego podkładu kolejowego z podkładką podpodkładową: a) zróżnicowana odległość krawędzi podkładki podpodkładowej od krawędzi spodu podkładu; b) strefa braku przyczepności na połączeniu pomiędzy podkładką podpodkładową, a podkładem - w środkowej części podkładu

Przykłady próbek podkładek podpodkładowych zamocowanych do betonowych kostek (symulujących w trakcie badania podkład strunobetonowy i pozwalających badać wpływ szczepności pomiędzy podkładką USP i podkładem), wykonanych zgodnie z normą PN-EN 16730 [12] pokazano na rysunkach 11a i 11b.

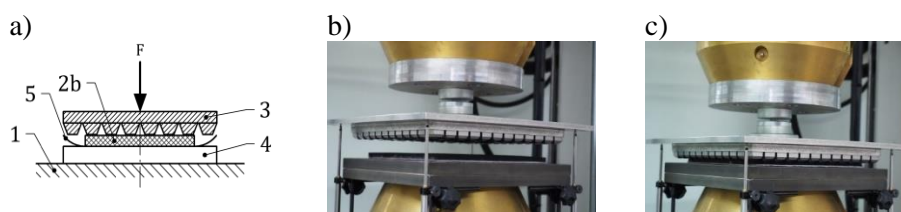


Rys. 11. Próbkę podkładki podpodkładowej przymocowanej do kostki betonowej o wymiarach 250 x 250 x 100 mm do badania statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki zgodnie z normą PN-EN 16730 [12]: a) schemat wymiarowy wraz z tolerancjami wykonania (oznaczenia: 1 – podkładka podpodkładowa; 2 – kostka betonowa); b) próbki z podkładką podpodkładową na bazie granulatu gumowego o gr. 9 mm przed badaniami (3 szt.)

Badania statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki można wykonywać na dwóch rodzajach próbek: I rodzaj – podkładki podpodkładowe (rys. 13) oraz II rodzaj – podkładki podpodkładowe zamocowane do betonowej kostki (rys. 12).



Rys. 12. Badanie statycznego i dynamicznego modułu sztywności dla podkładki podpodkładowej na kostce betonowej zgodnie z normą PN-EN 16730 [12]: a) schemat badania (oznaczenia: 1 – sztywne i nieodkształcalne podłoże/podparcie; 2a – próbka podkładki podpodkładowej na kostce betonowej; 3 – geometryczna płyta dociskowa/obciążeniowa GBP; 4 – dolna płyta podparcia); b) próbka podkładki podpodkładowej na bazie poliuretanu na stanowisku badawczym przed obciążeniem; c) próbka podkładki podpodkładowej na bazie poliuretanu na stanowisku badawczym pod maksymalnym obciążeniem statycznym (maksymalne ugięcie próbki)

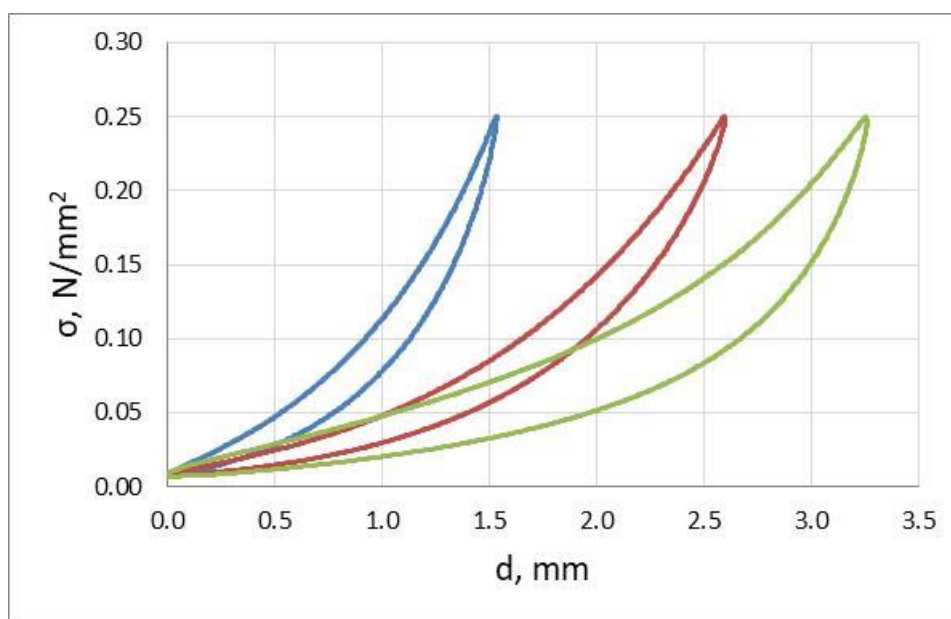


Rys. 13. Badanie statycznego i dynamicznego modułu sztywności dla podkładki podpodkładowej zgodnie z normą PN-EN 16730 [12]: a) schemat badania (oznaczenia: 1 – sztywne i nieodkształcalne podłoże/podparcie; 2b – próbka podkładki podpodkładowej; 3 – geometryczna płyta dociskowa/obciążeniowa GBP; 4 – dolna płyta podparcia; 5 – papier ścierny); b) próbka podkładki podpodkładowej na bazie granulatu gumowego na stanowisku badawczym przed obciążeniem; c) próbka podkładki podpodkładowej na bazie granulatu gumowego na stanowisku badawczym pod maksymalnym obciążeniem statycznym (maksymalne ugięcie próbki)

Na rysunku 14 przedstawiono przykładowy wykres statycznej charakterystyki obciążenie/ugięcie (kategoria toru TC3 wg PN-EN 16730 [12]) dla elastomerycznych podkładek podpodkładowych na bazie: granulatu gumowego o gr. 7 i 9 mm oraz poliuretanu o gr. 7 mm obrazujących wpływ grubości i rodzaju materiału na wartości statycznego modułu sztywności podkładki (C_{stat}). Na wykresie można zauważyć, że podkładki wykonane z tego samego materiału (patrz podkładki na bazie granulatu gumowego o grubości 7 i 9 mm), ale o różnej grubości będą posiadać inną wartość statycznego modułu sztywności – zgodnie z zasadą im większa grubość tym mniejsza wartość statycznego modułu sztywności podkładki. Dodatkowo można zauważyć, że różne materiały (patrz podkładki na bazie granulatu gumowego i poliuretanu) charakteryzują się zdecydowanie różnym polem powierzchni zawartym pomiędzy wykresami obciążenia i odciążenia próbki materiału

co ma wpływ na wielkość tłumienia wibracji przez materiał – zgodnie z zasadą im większe pole powierzchni tym większe tłumienie wibracji).

Wykres statycznej charakterystyki obciążenie / ugięcie (rys. 14) został w pracy przedstawiony, gdyż jest on podstawowym wykresem przy doborze podkładki podpodkładowej już na wstępnym etapie projektowania konstrukcji drogi szynowej – patrz tabele 1 i 2.



Rys. 14. Wykres statycznej charakterystyki obciążenie (σ) / ugięcie (d) (kategoria toru TC3 wg PN-EN 16730 [12]) dla próbek zamocowanych do kostek betonowych elastomerowych podkładek podpodkładowych na bazie: granulatu gumowego o gr. 7 mm (kolor niebieski; $C_{stat} = 0,101 \text{ N/mm}^3$); granulatu gumowego o gr. 9 mm (kolor czerwony; $C_{stat} = 0,056 \text{ N/mm}^3$) oraz poliuretanu o gr. 7 mm (kolor zielony; $C_{stat} = 0,045 \text{ N/mm}^3$)

Przedstawiony potencjał badawczy Wydziału Inżynierii Lądowej PW w zakresie badania izolatorów wibroakustycznych stosowanych w drogach szynowych – w tym podkładek podpodkładowych (USP), wskazuje na możliwość wykorzystywania go przez zarządców infrastruktury przy opracowywaniu odpowiednich wymagań dotyczących stosowania tych wyrobów na polskiej sieci kolejowej.

6. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonej analizy w pracy można stwierdzić, że:

- 1) Stosowanie podkładek podpodkładowych w podsypkowych konstrukcjach nawierzchni szynowych jest celowe dla poprawy warunków interakcji pojazd-

tor, a tym samym dla zwiększenia trwałości podsypki i podkładów oraz zwiększenia skuteczności redukcji wibracji transmitowanych do otoczenia od ruchu pojazdów szynowych;

- 2) Jako najistotniejsze dla potwierdzania wymaganych parametrów oceny właściwości funkcjonalnych i wytrzymałościowych podkładek podpodkładowych, tj. dla oceny ich skuteczności tłumienia dragań oraz trwałości eksploatacyjnej są przedstawione w rozdz. 4 referatu badania statycznych i dynamicznych modułów sztywności podkładek podpodkładowych, ich wytrzymałości zmęczeniowej oraz przyczepności do spodu podkładu;
- 3) Bardzo istotne jest pilne opracowanie przez zarządcę infrastruktury i/lub jednostkę naukową, podstawowych wymagań dla wyrobów i systemów stosowanych dla izolacji wibroakustycznej w konstrukcjach dróg szynowych, określających najbardziej istotne dla ich funkcji parametry materiałowe i wymagania jakościowe - najistotniejsze z uwagi na skuteczność tłumienia wibracji i hałasu oraz trwałość eksploatacyjną nawierzchni;
- 4) Przedmiot zamówienia dotyczącego dostaw podkładek podpodkładowych należy opisywać w sposób jednoznaczny, z wykorzystaniem przede wszystkim Polskich Norm i aktualnego stanu wiedzy, uwzględniając tylko istotne właściwości wyrobu pod względem spełnienia przez niego wymagań techniczno-eksploatacyjnych wymaganych przez zarządcę infrastruktury, jak również w sposób jednoznaczny i konkretny opisywać warunki oceny równoważności oferowanych podkładek podpodkładowych;
- 5) Opracowywane dokumentacje projektowe i przetargowe na dostawy podkładek podpodkładowych powinny uwzględniać aktualny stan wiedzy i dotyczące ich aktualne polskie dokumenty normalizacyjne.

LITERATURA

- [1] Auer F., Potvin R.: USP in Track. Influence of USP on the Track Behaviour. UIC 2013.
- [2] Bahn-Norm BN 918 145-01/02 Spannbetonschwellen mit elastischer Sohle. Część 1: Elastische Swellensohle. Część 2: Verbundsystem Spannbetonschwellen-elastische Schwellensohle. Deutsche Bahn 2004.
- [3] Carels P., Zamaro A.: Izolacje wibroakustyczne w nawierzchniach szynowych. Infrastruktura Transportu, nr 4, 2008.
- [4] DIN 45673-1:2010-08 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 1: Terms and definitions, classification, test procedures.
- [5] DIN 45673-6:2010-08 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 6: Laboratory test procedures for under-sleeper pads of concrete sleepers.
- [6] Iliev D. L.: Die horizontale Gleislagestabilität des Schotteroberbaus mit konventionellen und elastisch besohlenen Schwellen. Technische Universität München, 2012.
- [7] Kraśkiewicz C., Lipko C., Oleksiewicz W.: Terminologia i systematyka elementów składowych w nawierzchni kolejowej o konstrukcji bezpodsypkowej, Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczypospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie, nr 2 (109), s. 101-113, 2016.

- [8] Kraśkiewicz C., Lipko C., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Parametry charakteryzujące wibroizolacyjne maty podtłuczniowe stosowane w konstrukcji dróg szynowych i metody ich badania, *Przegląd Komunikacyjny*, nr 9, s. 76 – 82, 2015.
- [9] Kraśkiewicz C., Lipko C., Płudowska M., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Static and Dynamic Characteristics of Resilient Mats for Vibration Isolation of Railway Tracks, *Procedia Engineering*, Elsevier BV, vol. 153, s. 317-324, 2016, DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.122.
- [10] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Lipko C., Zbiciak A.: Parametry charakteryzujące wibroizolacyjne maty pod płytowe stosowane w konstrukcji dróg szynowych i metody ich badania, *Zeszyty Naukowo-Techniczne Stowarzyszenia Inżynierów i Techników Komunikacji w Krakowie. Seria: Materiały Konferencyjne, Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji Rzeczpospolitej Polskiej. Oddział w Krakowie*, nr 2 (106), s. 89-113, 2015.
- [11] PN-EN 13230 (Część 1-6) Kolejnictwo -- Tor -- Podkłady i podrozdajdnice betonowe. Polski Komitet Normalizacyjny. Warszawa 2016.
- [12] PN-EN 16730:2016-08 Kolejnictwo - Tor - Podkłady i podrozdajdnice betonowe z podkładkami podpodkładowymi, Polski Komitet Normalizacyjny, 2016.
- [13] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie krajowych ocen technicznych. Dz.U. 2016 poz. 1968. [4] Sysak J. *Drogi Kolejowe*. PWN, Warszawa, 1982.
- [14] Wydawnictwo Beuth (Beuth Verlag GmbH), Niemiecki Komitet Normalizacyjny, strona internetowa: <https://www.beuth.de/en/standard/din-45673-6/132140063> (data dostępu 30.09.2017 r.).

UNDER SLEEPER PADS IN BALLASTED RAIL TRACK SYSTEM – TECHNICAL AND FORMAL ASPECTS OF USE

Summary

The paper presents the classification of a group of products identified as vibro-acoustic isolators used in railway construction and repair in order to mitigate the adverse impact generated by rail traffic (vibration and noise). Under the basic classification of vibro-acoustic isolators the essential functional and operational features related to one of these products, i.e. Under Sleeper Pads (USPs), used in ballasted rail track systems, were described. With respect to these products the current formal and legal aspects of the USPs use in public procurement procedures, taking into account the changes resulting from the introduction of a Polish standard in this field and the related problems of appointing technical approvals in tender procedures were considered. The paper also presents the introduction of appropriate test methods for determining the values of relevant parameters for the purposes of using vibro-acoustic isolators. In particular the examples of the normative method of the USPs' testing carried out at the Faculty of Civil Engineering of the Warsaw University of Technology and selected results of such tests were presented.

Keywords: systematics of vibro-acoustic isolators, Under Sleeper Pads' (USPs) testing, ballasted rail track system, vibration and noise reduction.

Dane autorów:

Mgr inż. Cezary Kraśkiewicz

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Instytut Dróg i Mostów

e-mail: c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl

telefon: + 48 22 234 1537

Dr inż. Wojciech Oleksiewicz

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Instytut Dróg i Mostów

e-mail: w.oleksiewicz@il.pw.edu.pl

telefon: + 48 512 477 968

Dr hab. inż. Artur Zbiciak, prof. PW

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

Instytut Dróg i Mostów

e-mail: a.zbiciak@il.pw.edu.pl

telefon: + 48 22 234 6349