

Parametry charakteryzujące wibroizolacyjne maty podtłuczniowe stosowane w konstrukcji dróg szynowych i metody ich badania

Cezary Kraśkiewicz, Cezary Lipko, Wojciech Oleksiewicz, Artur Zbiciak



mgr inż. Cezary Kraśkiewicz

Zespół Dróg Szynowych,
Instytut Dróg i Mostów, Wydział
Inżynierii Lądowej Politechniki
Warszawskiej

c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl



dr inż. Wojciech Oleksiewicz

Zespół Dróg Szynowych Instytutu
Dróg i Mostów, Wydział
Inżynierii Lądowej Politechniki
Warszawskiej

w.oleksiewicz@il.pw.edu.pl



mgr inż. Cezary Lipko

TINES Capital Group SA

c.lipko@tines.pl



dr inż. Artur Zbiciak

Zakład Mechaniki Teoretycznej
i Mechaniki Nawierzchni
Komunikacyjnych, Wydział
Inżynierii Lądowej Politechniki
Warszawskiej

a.zbiciak@il.pw.edu.pl

Maty wibroizolacyjne stosowane są w konstrukcji dróg szynowych w celu redukcji dynamicznych oddziaływań od ruchu pojazdów szynowych na otoczenie ich tras. Redukcja oddziaływań dotyczy głównie wibracji (drgań materiałowych pionowych i poprzecznych) oraz pośrednio także hałasu (dźwięków powietrznych) – przede wszystkim tzw. hałasu wtórnego emitowanego wewnątrz i na zewnątrz budynków przez wzbudzone do drgań poprzez wibracje elementy ich konstrukcji (ściany i stropy) i różne elementy obiektów inżynierskich. Maty wibroizolacyjne są stosowane w podsypkowych i bezpodsypkowych konstrukcjach dróg szynowych zwiększając sprężystość warstwy podsypki tłuczniowej tj. zmniejszając transmisję oddziaływań dynamicznych od ruchu pojazdów do podtorza i dalej do otoczenia trasy. Jest to funkcja istotna zwłaszcza w nawierzchniach położonych na obiektach inżynierskich takich jak mosty, wiadukty, estakady i tunele zlokalizowane w strefie oddziaływania na środowisko miejskie.

W nawierzchniach o konstrukcji bezpodsypkowej, maty wibroizolacyjne są zwykle układane poziomo i pionowo bezpośrednio pod i z boków betonowej płyty podbudowy, stanowiącej dzięki temu sprężystą warstwę nośną dla nawierzchni szynowej. Powstały w ten sposób układ mas i warstw sprężystych tworzy konstrukcję określaną jako system masy odsprężynowanej o dużej skuteczności tłumienia drgań, zwłaszcza w zakresach niskich częstotliwości.

Maty wibroizolacyjne mogą być klasyfikowane ze względu na różne kryteria klasyfikacji – m.in. ze względu na zakres ich stosowania, sposób produkcji (materiał i technologię wykonania oraz związaną z tym strukturę prze-

kroju).

Ze względu na zakres zastosowania w różnych rodzajach konstrukcji dróg szynowych maty wibroizolacyjne można podzielić na:

- maty podtorowe (STM – skrót od ang. Slab-Track Mats), przeznaczone do bezpodsypkowej konstrukcji drogi szynowej (do układania pod betonową płytą podbudowy);
- maty podtłuczniowe (UBM – skrót od ang. Under-Ballast Mats lub SBM – skrót od ang. Sub-Ballast Mats oraz USM – skrót od niemieckiej nazwy Unterschottermatten), przeznaczone do podsypkowej konstrukcji drogi szynowej (do układania pod warstwą podsypki tłuczniowej), wśród których są rozróżniane dwie odmiany klasyfikowane z uwagi na główny cel ich zastosowania:

bw- stosowane przede wszystkim dla celów wibroizolacji,
bp- stosowane przede wszystkim dla celów redukcji naprężeń w podsypce.

Ze względu na stosowane materiały i technologie produkcji maty wibroizolacyjne można podzielić na maty wykonane z różnego rodzaju elastomerów (maty elastomerowe) lub maty z wełny mineralnej. Wśród mat elastomerowych wyróżnia się:

- maty na bazie poliuretanu w odmianach z porami zamkniętymi lub otwartymi;
- maty gumowe (kompozytowe na bazie mieszanek kauczuku naturalnego lub/i kauczuku syntetycznego), których sprężystość zapewniona jest przez kształt przekroju maty (kanaliki, rowki lub różnego kształtu wypustki).

Maty wibroizolacyjne mogą mieć jednolitą strukturę przekroju (homogeniczną) albo

strukturę warstwową z warstwami różnych materiałów (tzw. przekrój Sandwich), z których jedno spełnia podstawową funkcję wibroizolacyjną, a inne funkcję wzmacniającą lub rozkładającą bardziej równomiernie obciążenia działające na matę.

Norma niemiecka DIN 45673-5 [2], która opisuje metody badania mat podtłuczniowych, w następujący sposób określa podstawowe cele stosowania tego rodzaju mat w konstrukcji dróg szynowych:

- „redukcja wibracji, wstrząsów i hałasu wtórnego wywołanych ruchem tramwajów, metra, kolei miejskiej i kolei;
- redukcja naprężeń w podsypce w przypadku pociągów poruszających się z dużymi prędkościami”.

Potrzeba opracowania jednolitych wymagań technicznych dla mat podtłuczniowych

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 ujednolicenia charakterystyk technicznych mat wibroizolacyjnych 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 wymienio-nych powyżej dokumentów charakterystyki techniczne mat wibroizolacyjnych mają charakter określonych wymagań techniczno-funkcjonalnych dotyczących cech materiałowych (parametrów fizyczno-wytrzymałościowych) najbardziej istotnych dla spełnienia przez matę jej zasadniczych funkcji, które można ogólnie określić jako:

- Jak najbardziej skuteczna wibroizolacja polegająca na maksymalnej redukcji poziomu oddziaływań w postaci wibracji i hałasu wtórnego i dodatkowo na zwiększeniu ochrony otoczenia danej trasy komunikacyjnej przed wpływem prądów błądzących.
- Znacząca redukcja naprężeń występujących w warstwie podsypki, zapewniająca tej warstwie zwiększoną stabilność, a w

wypadku zastosowania mat na obiektach inżynierskich wpływająca korzystnie na trwałość konstrukcji tych obiektów.

- c) Jak największa 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 stwierdzaną podczas laboratoryjnych z badań zmęzeniowych przeprowadzanych w warunkach symulujących ekstremalne warunki eksploatacyjne.

Powyższe ogólne określenia funkcji spełnianych przez maty wibroizolacyjne 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 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 sparametryzowanych charakterystyk materiałowych ustalonych przez Zamawiającego. Ustalenie charakterystyk materiałowych następuje na podstawie dokumentacji projektowej (STWiORB), w której projektanci, kierując się, w przypadku braku aktualnej normy PN-EN, aprobatą techniczną udzieloną dla wyrobu konkretnego producenta opisują wymagania, za pomocą nie zawsze istotnych właściwości z punktu spełnienia powyższych wymagań zasadniczych. Ponadto wartości parametrów opisujących te właściwości określane są na podstawie zróżnicowanych norm zagranicznych, 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 Pzp, które w art. 29 ust.3 mówi, że: „Przedmiotu zamówienia nie można opisywać przez wskazanie znaków towarowych, patentów lub pochodzenia, chyba że jest to uzasadnione specyfiką przedmiotu zamówienia i zamawiający nie może opisać przedmiotu zamówienia za pomocą dostatecznie dokładnych określeń, a wskazaniu takiemu towarzyszą wyrazy „lub równoważny”. Natomiast art. 30 ust.4 mówi, że: „Opisując przedmiot zamówienia za pomocą norm, aprobat, specyfikacji technicznych i systemów odniesienia, o których mowa w ust. 1–3, zamawiający jest obowiązany wskazać, że dopuszcza rozwiązania równoważne opisy-

wanym”. Zgodnie z utrwalonym orzecznictwem Krajowej Izby Odwoławczej (KIO) obowiązkiem Zamawiającego jest jednoznaczne określenie parametrów oceny równoważności.

W praktyce występuje jednak brak jasno sprecyzowanych wymagań w stosunku do izolatorów wibroakustycznych i elektrycznych – w tym również mat podtłuczniowych – stosowanych w konstrukcji dróg szynowych, co skutkuje niemożliwością jednoznacznej oceny równoważności takich wyrobów. To z kolei prowadzi do sporów w rozstrzyganiu 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 ujednolicenia w skali krajowej wymagań technicznych dla badania tych parametrów. Brak normy PN-EN dotyczącej m.in. charakterystyk technicznych dla mat wibroizolacyjnych pogarsza dodatkowo fakt braku jednolitych wytycznych dotyczących opracowywania Aprobatach technicznych dla tego rodzaju wyrobów. Wytyczne takie powinny być określane przez jednostki naukowo-badawcze uprawnione do aprobowania wyrobów w postaci jednolite obowiązujących „Zasad udzielania aprobat technicznych” (ZUAT). Dwie główne 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) nie opracowały niestety odpowiednich ZUAT, co skutkuje to tym, że Aprobatach techniczne m.in. dla mat wibroizolacyjnych wydawane dla różnych producentów zawierają różne wymagania, zwykle powtarzane w Aprobacie zgodnie z treścią wniosku opracowanego przez producenta mat (patrz tab. 1).

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 mat podtłuczniowych.

Istotne dla eksploatacji właściwości funkcjonalne i parametry wibroizolacyjnych mat podtłuczniowych

Określone ogólne wymagania techniczno-funkcjonalne dotyczące wibroizolacyjnych mat podtłuczniowych produkowanych głównie z elastomerów wymagają wskazania cech materiałowych (parametrów fizyczno-wytrzymałościowych) najbardziej istotnych dla spełnienia przez matę jej zasadniczych funkcji. W sytuacji braku polskiej normy określającej takie parametry należy posłużyć się wymaganiami

niemieckiej normy DIN 45673-5 [2], stosowanej w wielu krajach europejskich. Za wykaz parametrów najbardziej istotnych dla oceny jakościowej mat podtłuczniowych można uznać zawarte w rozdziale 8 tej normy (w wersji z 2008 roku) wyszczególnienie minimalnego zakresu danych jakie powinny być zawarte w raporcie z badań przeprowadzanych na jej podstawie.

Wyszczególnienie to określa dla odmiany mat przeznaczonych do izolacji wibroakustycznej, tj. do redukcji wibracji, wstrząsów i dźwięków wtórnych następujące parametry wybrane z uwagi na:

1. podstawową funkcję izolacji wibroakustycznej:
 - a) statyczny (C_{stat}) i dynamiczny (C_{dyn}) moduł podłoża sprężystego – wartości modułu dynamicznego w zakresie częstotliwości niskich ($C_{dyn1} = 10 \text{ Hz}$) i wysokich ($C_{dyn2} = 20 \text{ Hz}$),
 - b) współczynniki przeszywnienia dynamicznego w zakresie częstotliwości niskich ($C_{dyn1} = 10 \text{ Hz}$) i wysokich ($C_{dyn2} = 20 \text{ Hz}$) - $(\kappa_{dyn}(f) = C_{dyn}(f) / C_{stat})$
 - c) współczynnik strat (tłumienia) określany jako (η) tangens kąta (ζ) przesunięcia fazowego na osi czasu pomiędzy obciążeniem i odkształceniem,
2. parametry specyficzne dla odmiany mat podtłuczniowych przeznaczonych do redukcji naprężeń w podsypce na liniach dużych prędkości
 - a) statyczny (C_{stat}) i dynamiczny (C_{dyn}) moduł podłoża sprężystego – wartości modułu dynamicznego w zakresie częstotliwości niskich ($C_{dyn1} = 10 \text{ Hz}$),
 - b) współczynnik przeszywnienia dynamicznego w zakresie częstotliwości niskich ($C_{dyn1} = 10 \text{ Hz}$) - $(\kappa_{dyn}(f) = C_{dyn}(f) / C_{stat})$.
 - c) statyczny moduł sprężystości poziomej podłoża $C_{stat,h}$.
3. trwałość (zdatość) eksploatacyjną wibroizolacji tj. mechaniczną wytrzymałość zmęczeniową obejmującą określane wizualnie zmiany mechaniczne maty (np. jej uszkodzenie przez zgniecenie, pęknięcia, itp.) i zmiany statycznego modułu podłoża sprężystego wywołane dwustopniowym obciążeniem dynamicznym symulującym w warunkach laboratoryjnych obciążenia eksploatacyjne (10 mln + 2,5 mln cykli obciążeń),
4. ustalone cechy materiałowe maty, których wybór dokonywany przez Projektanta lub Inwestora powinien uwzględniać specyfikę warunków eksploatacyjnych związanych z konkretnym przeznaczeniem danego rodzaju maty podtłuczniowej. Badania cech materiałowych mogą obejmować następujące parametry opisane w normie [2]:
 - a) wodoodporność określaną poprzez zmianę wytrzymałości na rozciąganie i rozciąganie pod wpływem 168 godzinowego (1 tygodniowego) zanurzenia w wodzie destylowanej,

- b) wodo- i mrozoodporność określaną poprzez wizualną zmianę stanu technicznego maty oraz zmianę jej dynamicznego modułu podłoża sprężystego pod wpływem dynamicznego obciążania próbki nasączonej wodą i zamrożonej przez 24 godz. w temp. -25°C;
- c) odporność na sztuczne starzenie próbki maty w komorze termicznej określaną poprzez zmianę jej masy, wytrzymałości na rozciąganie i rozerwanie oraz twardości pod wpływem długotrwałego działania temperatury +70°C w okresie 1 tygodnia.

Inne właściwości mat podtłuczniowych zamieszczane w aprobach technicznych (np. wytrzymałość na rozciąganie, odkształcenie trwałe po ściskaniu, nasiąkliwość, rezystywność skrośna, odporność ogniowa, odporność na działanie smarów i olejów itp.) mogą mieć znaczenie w specyficznych, specjalnych warunkach eksploatacji. W typowych, przeważających warunkach eksploatacyjnych ich znaczenie jest zwykle drugorzędne lub wręcz nieistotne i nie powinny one stanowić standardowego zakresu charakterystyk technicznych tych wyrobów stanowiących kryteria decyzyjne w procedurach przetargowych Pzp.

W tabeli 1, na podstawie wydanych aprobat technicznych dla mat różnych producentów, zestawiono zamieszczone w nich parametry techniczne mat oraz normy według których były określane ich wartości.

Z zestawienia tego jednoznacznie wynika dowolność wyboru, brak jednolitych wymagań oraz metod określania tych parametrów, nawet przy uwzględnieniu różnic wynikających z różnych materiałów użytych do ich

produkcji. Występują tu właściwości nieistotne z uwagi na spełnienia zasadniczych wymagań funkcjonalnych. Tymczasem wymagania odnośnie jednego wyrobu do takiego samego zastosowania, powinny być identyczne pod względem właściwości, procedur badawczych opisanych w odpowiednich normach, a także wartości parametrów granicznych warunkujących ich przydatność w określonych warunkach eksploatacyjnych.

Wybrane zagadnienia badania istotnych dla eksploatacji właściwości funkcjonalnych i parametrów wibroizolacyjnych mat podtłuczniowych

Wspomniany brak normy polskiej oraz europejskiej, która określałaby w sposób jednoznaczny wymagania i metodykę badań dla mat podtłuczniowych stosowanych w drogach szynowych, powoduje że zasadne jest stosowanie normy niemieckiej DIN 45673-5 [2]. Należy zwrócić jednak uwagę, że obecnie wydawane normy zwykle nie określają granicznych wartości parametrów, a jedynie procedury badawcze konkretnych właściwości. W dalszej części referatu zostaną opisane wybrane procedury badawcze charakterystyczne dla mat podtłuczniowych.

Statyczny i dynamiczny moduł podłoża sprężystego

Parametr ten zasadniczo określa skuteczność tłumienia transmisji drgań do otoczenia. Dla mat mniej podatnych skuteczność ta będzie mniejsza niż dla mat o małych wartościach

modułu podłoża sprężystego. Jednak trzeba mieć na uwadze, że zastosowanie maty o bardzo małej wartości statycznego modułu podłoża sprężystego, skutkuje większym ugięciem pionowym szyny i nawierzchni szynowej, co z kolei powoduje większe amplitudy i naprężenia oraz zmniejsza wytrzymałość zmęczeniową, a tym samym trwałość eksploatacyjną konstrukcji drogi szynowej. Szybsze narastanie odkształceń zwiększa nakłady na utrzymanie toru. Warto dodać, że słowo *podłoże* w nazwie parametru traktowane jest tutaj w szerszym kontekście – nie jako *podłoże gruntowe*, a jako element pod konstrukcją nawierzchni szynowej. Wartość statycznego i dynamicznego modułu podłoża sprężystego (często mylnie określane w przypadku mat podtłuczniowych jako odpowiadająca im sztywność statyczna i dynamiczna) zawiera się w szerokim przedziale wartości od ~ 0,003 do ~ 0,33 N/mm³. Zależy ona m.in. od rodzaju i struktury materiału, grubości maty, wartości obciążenia w jakim określany jest moduł podłoża sprężystego oraz częstotliwości obciążeń w przypadku modułu dynamicznego.

Statyczny moduł podłoża sprężystego C_{stat}

Statyczny moduł podłoża sprężystego 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 wielkość ugięcia pionowego na-

Tab. 1. Zestawienie właściwości mat wibroizolacyjnych różnych producentów oraz norm wg jakich były one określone [9]

Właściwości	AT/2013-02-2968	AT/09-2010-0218-00	AT/09-2010-0214-00	AT/2008-03-2312/2	AT/07-2012-0258-00	AT/09-2009-0184-00	AT/07-2011-0237-00	AT/07-2013-0280-00	AT/07-2011-0228-A1
Stacyjny moduł podłoża sprężystego	DIN 45673-7	DIN 45673-5	DIN 45673-5	BN 918 071-1	DIN 45673-5	BN 918 071-1	DIN 53513	DIN 45673-5	DIN 45673-5
Dynamiczny moduł podłoża sprężystego	DIN 45673-7	DIN 45673-5	DIN 45673-5	BN 918 071-1	DIN 45673-5	BN 918 071-1	DIN 53513	DIN 45673-5	DIN 45673-5
Współczynnik tłumienia	-	-	DIN 45673-5	-	-	-	-	-	-
Wytrzymałość zmęczeniowa	-	-	DIN 45673-5	-	-	-	-	DIN 45673-5	DIN 45673-5
Nasiąkliwość	-	-	PN-EN ISO 62	-	DIN-52103	PN-EN 12087	-	EN 12087	-
Wodoodporność	-	DIN 53504	-	-	-	-	-	-	-
Mrozoodporność	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rezystywność skrośna	DIN IEC 60093	-	IEC 60093	DIN IEC 60093	UNI 5527	BS 903-C2	-	DIN EN 13146-5	DIN IEC 60093
Odporność na starzenie	-	DIN 53509-1	-	-	-	-	-	-	-
Odkształcenie trwałe po ściskaniu	-	PN-EN ISO 1856	PN-EN ISO 1856	PN-EN ISO 1856	-	-	PN-EN ISO 1856	PN-EN ISO 1856	PN-EN ISO 815
Wytrzymałość na rozciąganie	PN ISO 37	PN-EN ISO 1798	PN-EN ISO 1798	PN-EN ISO 527-3	-	PN ISO 37	DIN 53571	-	-
Wydłużenie przy zerwaniu podczas rozciągania	PN ISO 37	PN-EN ISO 1798	PN-EN ISO 1798	PN-EN ISO 527-3	-	PN ISO 37	DIN 53571	-	PN ISO 37
Odporność ogniowa	DIN 4102-1	-	DIN 4102-1	DIN 4102-1	DIN 4102-1	-	DIN 4102	DIN 4102-1	-
Wytrzymałość na rozdzieranie	-	DIN ISO 34-1	-	-	-	PN ISO 34-1	DIN 53515	-	-
Odporność na działanie czynników atmosferycznych	-	DIN 53509-1	-	-	DIN 53509-1	PN-ISO 1431-1	-	-	-
Twardość	ISO 7619-1	-	-	-	-	PN-EN ISO 868	-	-	-
Ścieralność	-	-	-	-	-	PN-80/C-04233	-	-	-
Moduł Younga	-	-	-	-	PN-EN 826	-	-	-	-
Współczynnik przenikalności cieplnej	-	-	-	-	PN-EN 12667	-	PN-EN 12667	-	-

wierzchni. Wielkość statycznego modułu podłoża sprężystego jest zależna od nacisku, nie jest to jednak zależność liniowa. Dlatego też jest określana dla różnych zakresów obciążeń w zależności od rozpatrywanego przeznaczenia zastosowania maty: tramwaj, metro, kolej miejska i kolej (patrz tab. 2).

Do badania używane są trzy próbki o wymiarach 300 mm x 300 mm x grubość maty. Odbywa się ono w temperaturze $23 \pm 3^\circ\text{C}$ (jeśli badany materiał będzie używany na zewnątrz dodatkowo powinien zostać sprawdzony w temperaturze $-20 \pm 3^\circ\text{C}$), przy czym próbki powinny być suche i przechowywane w temp. badania na co najmniej 16 h przed jego rozpoczęciem. Obciążenie próbki odbywa się w następującym układzie: płaska stalowa płyta obciążająca – materiał o dużej szorstkości – próbka maty podtłuczniowej – materiał o dużej szorstkości – płaska płyta obciążająca. Badanie powinno odbywać się w trzech cyklach, bez przerw pomiędzy poszczególnymi cyklami. W każdym cyklu zadane obciążenie powinno wzrastać od σ_0 aż do maksymalnego σ_2 . Następnie następuje odciążenie w którym wartość obciążenia maleje do zera. Fazy obciążania i odciążania próbki powinny odbywać się ze stałą w czasie zmianą prędkości obciążenia równą 0,01 (N/mm²)/s. Bazując na zmierzonych ugięciach s_1 oraz s_2 statyczny moduł podłoża sprężystego powinien zostać obliczony w N/mm² jako moduł sieczny (patrz rys. 1a) pomiędzy skrajnymi wartościami zakresu obciążeń, które podlegają ocenie – σ_1 oraz σ_2 , zgodnie ze wzorem nr 1:

$$C_{\text{stat}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (1)$$

gdzie: $s_2 - s_1$ jest to różnica wartości ugięć mierzona dla obciążeń σ_2 i σ_1 w czasie trzeciego

cyklu, który powinien zostać zarejestrowany w postaci wykresu obciążenie (σ)/ugięcie (s). Na głównych liniach kolejowych wartość statycznego modułu podłoża sprężystego powinna być również wyznaczona dla wysokiego stopnia zagęszczenia podsypki. Wartość statycznego modułu podłoża sprężystego obliczana jest jako średnia arytmetyczna z wartości wyznaczonych dla każdej z trzech próbek maty. Na rysunku nr 1b przedstawiono przykładowy wykres obrazujący wyznaczanie statycznego modułu podłoża sprężystego dla maty TRACKELAST SBM FSGR 550 o gr. 23 mm.

$$(C_{\text{stat}} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} = \frac{0,10 - 0,02}{3,8 - 1,2} \approx 0,03 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}) \quad (2)$$

Dynamiczny moduł podłoża sprężystego C_{dyn}

Dynamiczny moduł podłoża sprężystego 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 maty wibroizolacyjnej pod naciskiem poruszającego się taboru, czyli determinuje zapewniane przez nią ograniczenia transmisji drgań. Wartość dynamicznego modułu podłoża sprężystego jest zależna nie tylko od nacisku, jak w przypadku statycznego modułu podłoża sprężystego, ale również od częstotliwości, dlatego też powinna być wyznaczana w warunkach znormalizowanego nacisku i częstotliwości. W normie [2] procedura badania została rozdzielona na badanie dynamicznego modułu podłoża sprężystego dla niskich częstotliwości drgań $C_{\text{dyn 1(f)}}$ oraz dla wysokich częstotliwości drgań $C_{\text{dyn 2(f)}}$. Dynamiczny moduł podłoża sprężystego dla niskich częstotliwości drgań $C_{\text{dyn 1(f)}}$

jest badany w celu określenia dynamiki pracy toru – ugięcia toku szynowego pod wpływem obciążenia od koła pojazdu szynowego dzięki sprężystości elementów nawierzchni szynowej: szyn, podkładów i podsypki. Badanie dynamicznego modułu podłoża sprężystego dla wysokich częstotliwości drgań $C_{\text{dyn 2(f)}}$ jest przeprowadzane w celu określenia poziomu obniżenia hałasu wtórnego. Wartość dynamicznego modułu podłoża sprężystego $C_{\text{dyn 2(f)}}$ ma wpływ na częstotliwość drgań własnych f_0 układu oscylacyjnego w postaci toru, a więc na wartość tłumienności dodanej (D).

Wymiary próbki do badania dynamicznego modułu podłoża sprężystego oraz sposób jej obciążenia i przygotowania są takie same jak przy badaniu statycznego modułu podłoża sprężystego. Zakres obciążeń zadanych jest identyczny jak zakres obciążeń podlegających ocenie (patrz tab. 3). Badanie próbek w temperaturze pokojowej przeprowadza się na trzech próbkach, zaś w pozostałych temperaturach tylko dla częstotliwości 10 Hz (patrz tab. 4), na jednej próbce. Diagram sekwencji obciążeń harmonicznym przedstawia rysunek nr 2. Procedura badania jest następująca: próbka pomiędzy badaniami dla różnych częstotliwości obciążana jest przez 3 min. obciążeniem zredukowanym do wartości σ_r . Następnie próbkę obciążamy dynamicznie zmienne sinusoidalnie o określonej częstotliwości i zakresie obciążeń od σ_1 do σ_2 . Po 10 s po zadaniu takiego obciążenia rozpoczyna się pomiar, który trwa przez 10 pełnych cykli obciążenia.

Dla każdej częstotliwości f_j i temperatury badania, dynamiczny moduł podłoża sprężystego dla niskich częstotliwości $C_{\text{dyn 1(f)}}$ jest obliczany jako średnia arytmetyczna modułów siecznych pomiędzy skrajnymi wartościami zakresu obciążeń, tj. od σ_1 do σ_2 dla każdego cyklu, wg wzoru nr 3:

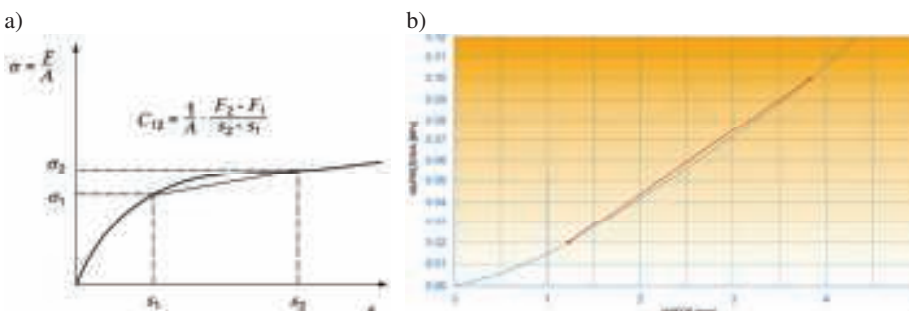
$$C_{\text{dyn 1}(f_j)} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} \left[\frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] \quad (3)$$

gdzie: $s_2 - s_1$ jest to różnica wartości ugięć mierzona dla obciążeń σ_2 i σ_1 .

Przy określaniu dynamicznego modułu podłoża sprężystego dla wysokich częstotliwości $C_{\text{dyn 2(f)}}$ procedura badania jest identyczna (wymiary próbki, warunki, temperatura, sposób przyłożenia obciążenia), a podstawowa różnica polega na tym, że próbka jest obciążana dynamicznie w stanie wstępnego, statycznego obciążenia zmienianego trzystopniowo o wartościach $\sigma_{v1} = 0,03$; $\sigma_{v2} = 0,06$; $\sigma_{v3} = 0,10$

Tab. 2. Zakresy obciążeń (siła ściskająca F przypadająca na jednostkę powierzchni próbki A ; $F = \sigma \times A$) stosowane przy wyznaczaniu statycznego modułu podłoża sprężystego [2]

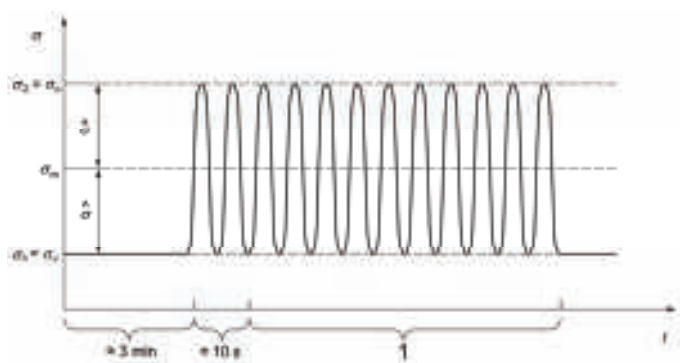
Zakres obciążeń zadanych [N/mm ²]	Zakres obciążeń ocenianych [N/mm ²]	Zastosowanie
$\sigma_0 = 0,01 \div \sigma_1 = 0,06$	$\sigma_1 = 0,02 \div \sigma_2 = 0,05$	Tramwaj
$\sigma_0 = 0,01 \div \sigma_0 = 0,08$	$\sigma_1 = 0,02 \div \sigma_2 = 0,07$	Metro
$\sigma_0 = 0,01 \div \sigma_0 = 0,11$	$\sigma_1 = 0,02 \div \sigma_2 = 0,10$	Kolej miejska
$\sigma_0 = 0,01 \div \sigma_0 = 0,25$	Dla średniego stopnia zagęszczenia podsypki: $\sigma_1 = 0,02 \div \sigma_2 = 0,10$ Dla wysokiego stopnia zagęszczenia podsypki: $\sigma_1 = 0,02 \div \sigma_2 = 0,20$	Kolej



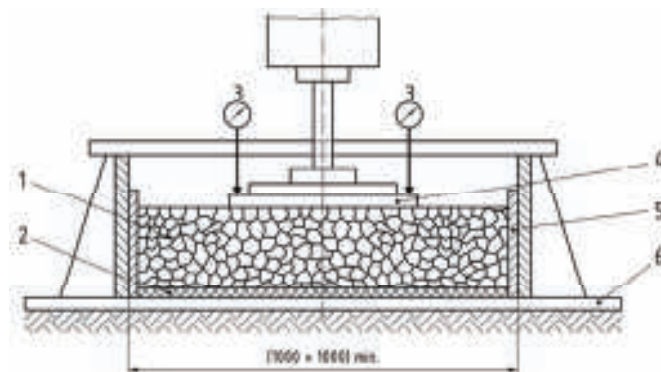
1. a) Wykres obrazujący badanie statycznego modułu podłoża sprężystego jako modułu siecznego pomiędzy skrajnymi wartościami zakresu obciążeń podlegających ocenie [1], b) Wykres obrazujący badanie statycznego modułu podłoża sprężystego maty TRACKELAST SBM FSGR 550 o gr. 23 mm

Tab. 3. Zakresy obciążeń stosowane przy wyznaczaniu dynamicznego modułu podłoża sprężystego [2]

Zakres obciążeń zadanych identyczny jak zakres obciążeń podlegających ocenie [N/mm ²]	Zastosowanie
$\sigma_0 = \sigma_1 = 0,02 \div \sigma_0 = \sigma_2 = 0,05$	Tramwaj
$\sigma_0 = \sigma_1 = 0,02 \div \sigma_0 = \sigma_2 = 0,07$	Metro
$\sigma_0 = \sigma_1 = 0,02 \div \sigma_0 = \sigma_2 = 0,10$	Kolej miejska
$\sigma_0 = \sigma_1 = 0,02 \div \sigma_0 = \sigma_2 = 0,10$	Kolej



2. Badanie dynamicznego modułu podłoża sprężystego maty podtłuczniowej – diagram sekwencji obciążeń harmonicznych. Oznaczenia: σ_m – średnia wartość przyłożonego obciążenia, σ – amplituda obciążenia, t – czas, 1 – zakres oceny obejmujący 10 cykli [2]



3. Schemat aparatury do badania wytrzymałości zmęczeniowej maty podtłuczniowej. Oznaczenia: 1 – podsypka, 2 – mata podtłuczniowa, 3 – mierniki na sztywnej ramie, 4 – okrągła płyta obciążeniowa, 5 – wkładka elastyczna (sztywność wkładki jest mniejsza niż sztywność maty podtłuczniowej, żeby utrudnić pełzanie podsypki), 6 – stalowa płyta koryta sztywno zamocowana do podłoża [2]

Tab. 4. Warunki badania – temperatura badania dla określonej częstotliwości [2]

Temperatura ($\pm 3^\circ\text{C}$)	Częstotliwość
Temperatura pokojowa (23°C)	$f_j = 5 \text{ Hz}, 10 \text{ Hz}, 20 \text{ Hz}, 30 \text{ Hz}$
$30^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}, -10^\circ\text{C}, -20^\circ\text{C}$	$f_j = 10 \text{ Hz}$

N/mm². Badanie przeprowadza się na trzech próbkach zgodnie z normą PN-EN ISO 10846-2 [7]. Obciążenie zadawane jest jako harmoniczne z prędkością zmian amplitudy 7 mm/s i przy częstotliwościach f_j z zakresu 8-200 Hz w tercjach przedziałach częstotliwości.

Współczynnik przeszywnienia dynamicznego

Współczynnik przeszywnienia dynamicznego określany jako stosunek dynamicznej do statycznej wartości modułu podłoża sprężystego jest prostą do określenia i reprezentatywną miarą skuteczności tłumienia drgań materiałowych przez maty podtłuczniowe. Ze względu na znaną właściwość elastomerów polegającą na znaczącym wpływie częstotliwości ich obciążenia dynamicznego na wartość wywołanego przez nie odkształcenia (tj. na sztywność lub na moduł podłoża sprężystego) określany on jest oddzielnie dla różnych częstotliwości. Moduł przeszywnienia dynamicznego jest określany wg wzoru nr 4, a jego wartość im bliższa jest 1 (dla wartości $\kappa_{dyn}(f) > 1$), tym lepsze właściwości wibroizolacyjne wykazuje badany element (np. mata podtłuczniowa).

$$\kappa_{dyn 1}(f) = \frac{C_{dyn}(f)}{C_{stat}} \quad (4)$$

Współczynnik strat (tłumienia) η

Współczynnik strat (tłumienia) η określany jako tangens kąta (ζ) przesunięcia fazowego na osi czasu pomiędzy obciążeniem i odkształceniem. Wartość współczynnika strat jest miarą tłumienia energii emitowanej z obiektu wzbudzonego do drgań (np. szyny lub innego elementu nawierzchni szynowej) do jego otoczenia (np. do podtorza). Określa on stosunek wartości energii rozproszonej do wartości energii obciążenia w przypadku obciążenia

quasi-statycznego lub harmonicznego. Wartość współczynnika tłumienia ma wpływ na wartość tłumienia dodanego (D_d) określanego w uproszczeniu jako różnica poziomu drgań w układzie konstrukcyjnym bez elementu wibroizolacyjnego i z takim elementem. Im większa jest wartość współczynnika tłumienia η tym mata jest lepszym izolatorem wibroakustycznym. Współczynnik strat (tłumienia) η określa się wg wzoru nr 5:

$$\eta = \tan(\zeta) \quad (5)$$

Statyczny moduł sprężystości poziomej podłoża $C_{stat,h}$

Dla mat podtłuczniowych, które stosuje się głównie w celu zmniejszenia naprężeń w podsypce oprócz podstawowych badań właściwości dynamicznych przedstawionych wcześniej dodatkowo należy wyznaczyć statyczny moduł sprężystości poziomej podłoża $C_{stat,h}$. Badanie to wykonuje się w celu oszacowania rozpraszania oddziaływań dynamicznych w kierunku podłużnym toru (np. od hamowania pociągów poruszających się z dużymi prędkościami). Badanie przeprowadza się według programu analogicznego, jak dla wyznaczania statycznego modułu podłoża sprężystego C_{stat} z tą różnicą, że górna płyta obciążająca jest przesuwana w poziomie. Na próbkę obciążoną początkową pionową siłą ściskającą $\sigma_v = 0,0125 \text{ N/mm}^2$ należy dodatkowo przyłożyć obciążenie poziome o wartościach zgodnie z tab. 5.

Badanie powinno odbywać się w trzech cyklach, bez przerw pomiędzy poszczególnymi cyklami. W każdym cyklu zadane obciążenie poziome powinno wzrastać od σ_v aż do maksymalnego σ_o . Następnie następuje odciążenie, w którym obciążenie maleje do wartości zerowej. Okres czasu wynoszący 5 min pomiędzy fazą obciążania i odciążania próbki powinien umożliwiać powrót do pierwotnego

kształtu próbki. Trzeci cykl powinien zostać zarejestrowany, a statyczny moduł sprężystości poziomej podłoża powinien zostać obliczony, jako moduł sieczny (patrz rys. 1) pomiędzy skrajnymi wartościami zakresu ocenianych obciążeń – σ_1 oraz σ_2 , zgodnie ze wzorem nr 6:

$$C_{stat,h} = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{s_2 - s_1} \left[\frac{N}{\text{mm}^3} \right] \quad (6)$$

gdzie: s_2, s_1 jest to różnica poziomych przemieszczeń mierzona dla obciążeń σ_2 i σ_1 .

Trwałość eksploatacyjna mat podtłuczniowych

Trwałość (zdatność) eksploatacyjną mat podtłuczniowych ocenia się poprzez badanie ich mechanicznej wytrzymałości zmęczeniowej i wpływu długotrwałych obciążeń dynamicznych na zmienność ustalonych parametrów. Badanie to polega na dwustopniowym obciążeniu dynamicznym próbki maty, symulującym w warunkach laboratoryjnych obciążenia eksploatacyjne. Obciążenia dynamiczne wywierane przez pulsator są sinusoidalnie zmienne z częstotliwością od 3 Hz do 5 Hz i wywierane z siłą harmoniczną o wartościach z przedziału od 50 kN do 100 kN zależnych od:

- przedziału wartości statycznego modułu podłoża sprężystego badanej maty podtłuczniowej,
- rodzaju drogi szynowej (podsystemu transportowego - tramwaj, metro, kolej miejska, kolej),
- I lub II stopnia obciążenia (I - 10 mln cykli, II - 2,5 mln cykli).

Wartości maksymalnej siły działającej na próbkę maty są podane dla poszczególnych stopni obciążenia i dla różnych rodzajów transportu szynowego w tablicy 6 według [2]. Próbką poddana obciążeniom dynamicznym jest

Tab. 5. Zakresy obciążeń (pozioma siła ściskająca F przypadająca na jednostkę powierzchni próbki A ; $F = \sigma \times A$) stosowane przy wyznaczaniu statycznego modułu sprężystości poziomej podłoża [2]

Zakres obciążeń zadanych [N/mm ²]	Zakres obciążeń ocenianych [N/mm ²]	Zastosowanie
$\sigma_v = 0 \div \sigma_o = 0,0075$	$\sigma_1 = 0,0010 \div \sigma_2 = 0,0065$	Kolej dużych prędkości

Tab. 6. Tabela maksymalnych wartości obciążeń przyjętych w badaniach zmęczeniowych w zależności od podsystemu dróg szynowych. Uwagi: dolna wartość obciążenia wynosi 10 kN; dla pośrednich wartości statycznego modułu podłoża sprężystego np. $C_{stat} = 0,05 \text{ N/mm}^3$ należy interpolować wartości maksymalnych obciążeń podanych w powyższej tabeli [2]

$C_{stat} [\text{N/mm}^3]$	Cykl	Tramwaj	Kolej miejska	Metro	Kolej	Liczba powtórzeń
$\leq 0,01$	1	50 kN	50 kN	-	-	10 mln
	2	66 kN	66 kN	-	-	2,5 mln
0,02	1	-	56 kN	56 kN	-	10 mln
	2	-	75 kN	75 kN	-	2,5 mln
0,03	1	-	-	56 kN	56 kN	10 mln
	2	-	-	75 kN	75 kN	2,5 mln
$\geq 0,06$	1	-	-	-	75 kN	10 mln
	2	-	-	-	100 kN	2,5 mln

wstępnie obciążona siłą statyczną o wartości 10 kN stanowiącą dolną granicę obciążeń dynamicznych.

Pozytywna ocena zdolności eksploatacyjnej badanej maty obejmuje stwierdzenie braku określanych wizualnie uszkodzeń mechanicznych maty takich jak np. jej zgniecenie, pęknięcia, rozerwania itp. oraz określenie na podstawie badania zakresu zmiany statycznego modułu podłoża sprężystego wywołanej dwustopniowym obciążeniem dynamicznym. Ocena trwałości eksploatacyjnej maty podtłuczniowej – oceniana na podstawie jej wytrzymałości zmęczeniowej określonej m.in. poprzez zmianę statycznego modułu sztywności w funkcji przeniesionego obciążenia, ma przełożenie na spadek skuteczności właściwości tłumiących maty. Mając na uwadze nawierzchnię o konstrukcji podsypkowej wymiana maty wiązałaby się z naprawą główną. Dlatego tak istotna jest ta właściwość dla Zarządców infrastruktury, którzy nie mogą sobie pozwolić na to, aby trwałość maty odbiegała od trwałości pozostałych elementów nawierzchni. Jednak jak pokazano w tabeli 1 wytrzymałość zmęczeniową określili jedynie nieliczni producenci mat, a ci którzy to zrobili powołują się właśnie na normę niemiecką DIN 45673-5 [2]. Przy doborze maty w trakcie projektowania konstrukcji drogi szynowej należy brać pod uwagę wytrzymałość zmęczeniową oferowanego wyrobu. Nawet jeśli pozostałe właściwości maty są zadowalające, to niespełnienie wymagania dotyczącego wytrzymałości zmęczeniowej może spowodować, że w trakcie eksploatacji wartości modułów podłoża sprężystego będą stosunkowo szybko wzrastać, co negatywne wpłynie na spełnianie podstawowej funkcji maty, jaką jest wibroizolacja.

Norma DIN 45673-5 [2] opisuje szczegółowo procedurę badania wytrzymałości zmęczeniowej maty podtłuczniowej, którą umieszcza się na dnie stalowego pojemnika, a następnie za pomocą okrągłej płyty obciążającej wyznacza się statyczny moduł podłoża sprężystego C_{stat} zgodnie z wcześniej opisaną procedurą. Następnie wsypuje się do pojemnika tłuczeń i zagęszcza się go za pomocą lekkiej płyty wibracyjnej. Po czym ponownie wyznacza się statyczny moduł podłoża sprężystego $C_{stat'}$ ob-

ciążając matę poprzez warstwę podsypki. Po wyznaczeniu statycznych modułów podłoża sprężystego przystępuje się do badania wytrzymałości zmęczeniowej, dla pierwszego cyklu – 10 mln obciążeń. Po zakończeniu 10 mln obciążeń należy ponownie określić statyczny moduł podłoża sprężystego. Następnie usuwa się podsypkę z koryta i dokonuje się wizualnej oceny maty pod kątem uszkodzeń mechanicznych. Jeśli nie ma istotnych uszkodzeń pojemnik napełnia się podsypką z powrotem i znowu określa statyczny moduł podłoża sprężystego, po czym przystępuje się do drugiego końcowego cyklu obciążeń – 2,5 mln. Po zakończonym 2 cyklu po raz kolejny określa się statyczny moduł podłoża sprężystego na powierzchni podsypki, sztywność statyczną maty po usunięciu podsypki z koryta oraz wizualnej oceny maty. Zasadę i oprzyrządowanie tego badania przedstawia rys. 3.

Mrozoodporność

Ze względu na klimat i związane z nim temperatury występujące w Polsce badanie mat podtłuczniowych pod kątem ich mrozoodporności jest jak najbardziej uzasadnione. Utrzymująca się przez co najmniej dwa tygodnie w okresie zimowym temperatura poniżej -20°C i ciągłe oscylowanie w okolicy 0°C nie są w naszym kraju rzadkością. Pomimo tego w żadnej z aprobat przedstawionych w tabeli 1 właściwość ta nie została uwzględniona, pomimo jej istotnego znaczenia dla funkcjonalności maty.

Badanie mrozoodporności opisane w normie DIN 45673-5 [2] wykonywane jest na jednej próbce o wymiarach od 300 x 300 mm do 500 x 500 mm. Przed przystąpieniem do badania należy wyznaczyć dynamiczny moduł podłoża sprężystego $C_{dyn 1(f)}$ dla próbki suchej w temperaturze pokojowej. Następnie próbka jest zanurzana na 24 godziny w wodzie destylowanej o temperaturze pokojowej. Przez pierwsze dwie godziny zanurzenia próbkę należy poddać cyklicznemu obciążeniu za pomocą profilowanej płyty obciążeniowej odzwierciedlającej swoją powierzchnią ziarna tłuczniwa (patrz rys. 4). Wartość obciążenia powinna mieścić się w zakresie od $\sigma_u = 0,05 \text{ N/mm}^2$ do $\sigma_o = 0,15 \text{ N/mm}^2$, przy częstotliwości 30 cykli na godzinę.

Następnie płyta obciążeniowa jest usuwana, a nasączona wodą próbka umieszczana jest w komorze klimatycznej (z kontrolowaną temperaturą) w temperaturze -20°C na 11 godzin. Po 11 godzinach zamrażania próbka jest rozmrażana poprzez podnoszenie temperatury do 30°C przez 1 godzinę i pozostawiana w takiej temperaturze na 11 godzin. Później temperatura jest po raz kolejny obniżana do wartości -20°C przez 1 godzinę i pozostawiona w takiej temperaturze na 11 godzin (patrz rys. 5). Czynności te należy powtórzyć 50 razy. Po zakończeniu 50 cykli należy wyznaczyć dynamiczny moduł podłoża sprężystego na wysuszonej próbce w temperaturze pokojowej i porównać z tym, który został określony przed badaniem. Dodatkowo należy ocenić próbkę wizualnie i stwierdzić, czy nie ma na niej pęknięć lub wybrzuszeń. Wyznacznikiem mrozoodporności maty jest procentowa zmiana wartości dynamicznego modułu podłoża sprężystego przed i po badaniu (im mniejsza tym lepiej).

Odporność na starzenie

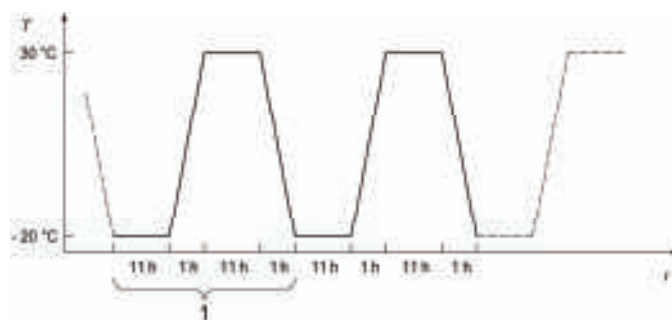
W czasie eksploatacji materiały – zwłaszcza tworzywa sztuczne, do których należą elastomery – zmieniają swoje właściwości. Proces ten nazywany jest starzeniem się materiału. Jest to szczególnie istotne w przypadku materiałów narażonych na niekorzystne działanie zewnętrznych czynników atmosferycznych. W przypadku mat podtłuczniowych z elastomerów starzenie się materiału wskutek zmiennych obciążeń termicznych może niekorzystnie wpływać na ich właściwości użytkowe. Ze względu na długotrwałość badań odporności na czynniki atmosferyczne w warunkach naturalnych, stosuje się metody przyspieszonego starzenia w warunkach laboratoryjnych. Zgodnie z normą DIN 45673-5 [2] oraz normą ISO 188 [3] badana próbka powinna zostać umieszczona w komorze grzewczej z wymuszonym obiegiem powietrza i stałym dopływem świeżego powietrza przez 168 godzin (7 dni) w temperaturze $70 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Należy wyznaczyć statyczny moduł podłoża sprężystego C_{stat} dla danej próbki zarówno przed badaniem odporności na starzenie jak i po, zgodnie z wcześniej opisaną procedurą. Oprócz oceny zmian tego modułu jest określana procentowa zmiana masy obliczana na podstawie uśrednionych wyników ważenia próbki przed i po procesie przyspieszonego starzenia. Wyznacznikiem odporności na starzenie maty jest procentowa zmiana wartości statycznego modułu podłoża sprężystego przed i po badaniu (im mniejsza tym lepiej).

Wodoodporność i nasiąkliwość

Kolejną istotną właściwością jest odporność mat na działanie wody. Właściwość ta nie została uwzględniona w większości z przedstawionych w tabeli 1 aprobat technicznych pomimo, że ma ona duże znaczenie w przy-



4. Badanie mrozoodporności - widoczna profilowana płyta obciążeniowa imitująca podsypkę [4]



5. Wykres pokazujący cykl zmian temperatury dla badania mrozoodporności [2]

padku mat podtłuczniowych, ze względu na przenikanie wód opadowych przez podsypkę i związany z tym destrukcyjny wpływ wody na materiał, z którego wykonana jest mata. Badanie polega na poddaniu próbki maty suszeniu w temperaturze 30°C przez 168 godzin, a następnie zanurzeniu jej w wodzie destylowanej o temperaturze 50°C na kolejne 168 godzin. Sprawdzenie odporności maty na wodę określa się poprzez sprawdzenie wytrzymałości na rozciąganie oraz badanie zmienności wydłużenia przy zerwaniu, przed nasiąknięciem i po nim. Określenie wytrzymałości na rozciąganie oraz wydłużenia przy zerwaniu powinno być wykonane zgodnie z normą PN-ISO 37 [8] lub PN-EN ISO 1798 [6], w zależności od materiału z którego wykonana jest mata. Wyznacznikiem odporności na działanie wody dla maty są procentowe zmiany wytrzymałości na rozciąganie oraz zmiany wydłużenia przy zerwaniu przed i po badaniu (im mniejsza tym lepiej).

W normie DIN 45673-5 [2] opisana jest metoda badań jeszcze jednej właściwości, a mianowicie zdolności maty do absorpcji wody, czyli wykazywanie określonej nasiąkliwości. Nasiąkliwość jest zdolnością materiału do wchłaniania wody. Wyróżnia się nasiąkliwość wagową, która określa procentowy stosunek masy wody wchłoniętej przez dany materiał do jego masy w stanie suchym oraz nasiąkliwość objętościową, czyli procentowy stosunek masy wody wchłoniętej przez materiał do objętości tego materiału w stanie suchym. Przez niektórych producentów mat podtłuczniowych właściwość ta jest szczególnie podkreślana jako bardzo istotna dla jakościowej oceny mat. Argumentują to tym, że maty podtłuczniowe są wystawione na działanie wody opadowej i przez to mogą wykazywać duże zmiany modułu podłoża sprężystego związanego podobno z nasiąkliwością. Ta intuicyjnie oceniana i prawdopodobna zależność nie znajduje jednak potwierdzenia w wynikach badań, co uzasadnia zakwalifikowanie omawianej zależności jako nieistotnej dla eksploatacji drogi szynowej. Opinia ta uwzględnia również fakt, że normowa metodyka badań nasiąkliwości zdecydowanie odbiega od realnych warunków oddziaływania wody na matę, jakie występują w eksploatacji bowiem podczas badania mamy do czynienia z wymuszoną absorpcją wody, która z zasady będzie znacznie większa niż w przypadku naturalnej absorpcji wody

opadowej w torze z podsypkową konstrukcją nawierzchni. W niektórych aprobach (patrz. tab. 1) podane są wartości nasiąkliwości, bez określenia jej wpływu na wartość statycznego i dynamicznego modułu podłoża sprężystego, a więc wpływu na istotne właściwości użytkowe maty. Wyniki badań przeprowadzonych w Niemczech na Uniwersytecie Technicznym w Monachium [10] pokazują, że maty poliuretanowe o nasiąkliwości wynoszącej ok. 35 % wykazują tylko nieznaczną zmianę dynamicznego modułu podłoża sprężystego (8% dla częstotliwości 5 i 10 Hz i 5 % dla częstotliwości 20 i 30 Hz). Standardowo badanie nasiąkliwości materiału polega na moczeniu próbki w wodzie przez 192 godziny (8 dni) w temperaturze 23°C, gdzie po 24, 48, 96 i 192 godzinach dokonuje się ważenia próbki. Badanie to opisuje Polska Norma PN-EN ISO 62 [5]. Jednak procedura badania nasiąkliwości opisana w normie DIN 45673-5 [2], dedykowana specjalnie dla mat, jest inna. W przypadku tej procedury badawczej próbka maty zanurzona jest w wodzie o temperaturze $23 \pm 3^\circ\text{C}$ przez 24 godziny, gdzie przez pierwsze dwie godziny zanurzenia próbka poddawana jest cyklicznemu obciążeniu za pomocą płyty obciążeniowej imitującej podsypkę, w ilości 30 cykli na godzinę. Wartość obciążenia powinna mieścić się w zakresie od $\sigma_u = 0,05 \text{ N/mm}^2$ do $\sigma_o = 0,15 \text{ N/mm}^2$. W celu uniemożliwienia próbce maty swobodnego unoszenia się na wodzie próbka jest obciążana szklaną płytą. Nasiąkliwość zostaje wyrażona w procentach poprzez porównanie masy badanej próbki przed i po zanurzeniu, podając tę różnicę jako procentowy wzrost w odniesieniu do próbki w stanie suchym.

Wnioski

1. Niezbędne jest pilne, oficjalne ustalenie podstawowych wymagań dla wyrobów i systemów stosowanych dla izolacji wibroakustycznej i elektrycznej w konstrukcjach dróg szynowych, najistotniejszych z uwagi na skuteczność tłumienia wibracji i hałasu oraz trwałość eksploatacyjną torowiska.
2. Przedmiot zamówienia należy opisywać w sposób jednoznaczny, uwzględniając tylko istotne cechy techniczne i użytkowe wyrobu z wykorzystaniem przede wszystkim Polskich Norm, ewentualnie norm

państw Europejskiego Obszaru Gospodarczego – w przypadku mat podtłuczniowych powinna być to norma niemiecka DIN 45673-5 [2].

3. Opracowywane dokumentacje projektowe i przetargowe muszą uwzględniać aktualny stan wiedzy i aktualne polskie (ewentualnie państw Europejskiego Obszaru Gospodarczego) dokumenty normizacyjne. ◀

Materiały źródłowe

- [1] DIN 45673-1:2010-08 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 1: Terms and definitions, classification, test procedures.
- [2] DIN 45673-5:2010-08 Mechanical vibration. Resilient elements used in railway tracks. Part 5: Laboratory test procedures for under-ballast mats.
- [3] ISO 188 Rubber, vulcanized or thermoplastic. Accelerated ageing and heat resistance tests.
- [4] Materiały udostępnione przez firmę Tines S.A.
- [5] PN-EN ISO 62 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie absorpcji wody.
- [6] PN-EN ISO 1798 Elastyczne tworzywa sztuczne porowate. Oznaczanie wytrzymałości na rozciąganie i wydłużenie przy zerwaniu.
- [7] PN-EN ISO 10846-2 Akustyka i drgania. Laboratoryjne pomiary właściwości i przeniesienia wibroakustycznego elementów izolacyjnych. Część 2: Metoda dokładna wyznaczania sztywności dynamicznej izolacyjnych zawieszek w ruchu postępowym.
- [8] PN-ISO 37 Guma i kauczuk termoplastyczny. Oznaczanie właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu.
- [9] Pudlik A., Projektowe i budowlane problemy związane ze stosowaniem mat wibroizolacyjnych. Praca dyplomowa magisterska. Kraków 2014.
- [10] Research report No. 2808. Frost-Thaw tests on sub ballast mats of product family TRACKELAST SBM/RPU/Blue according to DIN 45673-5:2010-08. Technische Universität München. Monachium 2011 (za zgodą firmy Tines S.A.).