

BADANIA LABORATORYJNE PROTOTYPOWYCH WIBROIZOLACJI PRZEZNACZONYCH DO STOSOWANIA W NAWIERZCHNIACH SZYNOWYCH¹

Lucjan Janas

Dr inż., Politechnika Rzeszowska, Zakład Dróg i Mostów, e-mail: ljanas@prz.edu.pl

Jerzy Jurczuk

Mgr inż., Mostostal Warszawa, e-mail: J.Jurczuk@mostostal.waw.pl

Paweł Poneta

Mgr inż., Mostostal Warszawa, e-mail: P.Poneta@mostostal.waw.pl

Streszczenie. W artykule przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych wibroizolacji wykonanych ze zużytych opon samochodowych. określono sztywności statyczne i dynamiczne w różnych temperaturach. Sztywności dynamiczne podano w zależności od częstotliwości. Przedstawiono również wpływ obciążeń zmęczeniowych i próby mrozoodporności na parametry statyczne i dynamiczne badanego materiału.

Słowa kluczowe: drogi szynowe, wibroizolacje, badania laboratoryjne

1. Wprowadzenie

Wibroizolacje w nawierzchniach szynowych stosuje się w celu ochrony wrażliwych na drgania budowli, obniżenia hałasu od linii kolejowych i tramwajowych, ograniczenie wtórnego dźwięku powietrznego mogącego powstać w czasie przejazdów po obiektach mostowych [1, 2]. Właściwe wibroizolacje zwiększają stabilność torów i redukują naciski w podsypanie tłuczniowej.

Na sieci dróg szynowych coraz częściej zachodzi konieczność stosowania materiałów wibroizolacyjnych. W wielu przypadkach wibroizolacje są produkowane za granicą, a ich parametry nie zawsze są powszechnie znane. Rzadko są publikowane wyniki badań, a w szczególności badań w niskich temperaturach, czy badań zmęczeniowych. Krytyce poddaje się procedury badań laboratoryjnych [3].

W niniejszym artykule przedstawiono rezultaty wybranych badań prototypowych mat wibroizolacyjnych wyprodukowanych przez firmę Mostostal-Warszawa. Maty będą spełniały nie tylko funkcję wibroizolacji, ale również przyczynią się do utylizacji odpadów - zostały zaprojektowane z przetworzonych, zużytych opon samochodowych.

¹ Wkład procentowy poszczególnych autorów: Janas L. 50%, Jurczak J. 25%, Poneta P. 25%

2. Opis badanego materiału

Próbki prototypowych mat przeznaczone do badań laboratoryjnych zostały wykonane w formach kompozytowych o wymiarach: szerokość 250 mm, grubość 25 mm, długość 250 mm. Głównym składnikiem do ich produkcji był granulak gumowy uzyskany z recyklingu zużytych opon samochodów osobowych. Widok granulatu i próbki gotowej do badań przedstawia fot. 1.



Fot. 1. Granulat gumowy w pojemniku transportowym typu big bag i próbka przeznaczona do badań

Wielkość ziaren zastosowanego granulatu zawierała się w przedziale $1 \div 4$ mm. Oznaczanie składu ziarnowego granulatu gumowego wykonano wg PN-EN 933-1 (tabela 1).

Tabela 1. Skład granulometryczny próbki granulatu gumowego

Frakcja	Masa [g]	Udział [%]	Odsiew [%]
5,6÷5 [mm]	0	0	0
5÷4 [mm]	3,9	1,86	1,86
4÷2 [mm]	197,2	93,82	95,67
2÷1 [mm]	8,8	4,19	99,86
1÷0,3 [mm]	0,1	0,05	99,90
0,3÷0,125 [mm]	0,1	0,05	99,95
0,125÷0,063 [mm]	0,1	0,05	100
<0,063 [mm]	0	0	100
Suma:	210,2	100,00	-

Jako spoiwo granulatu gumowego zastosowano żywicę polimerową. Ilość zastosowanej żywicy dobrano w taki sposób, aby pokryła powierzchnie zewnętrzne ziaren i po związaniu utworzyła spójną strukturę odporną na działanie obciążeń zewnętrznych.

Jednorodną mieszaninę granulatu i żywicy układano w formach i zagęszczano pod naciskiem prasy. W celu przyspieszenia sieciowania żywicy, formy wypełnione plastyczną masą i pod odpowiednim obciążeniem wygrzewano w temperaturze 110°C. Podstawowe parametry próbek przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Zestawienie badanych próbek

Lp.	Oznaczenie próbki – maty	Grubość <i>h</i> [mm]	Długość <i>a</i> [mm]	Szerokość <i>b</i> [mm]	Powierzchnia <i>S</i> [mm ²]	Masa <i>m</i> [g]	Gęstość γ [kg/m ³]
1	MP3-1	32.4	250.6	250.8	62838.0	1000.0	490.8
2	MP3-2	31.4	250.9	250.1	62737.6	1033.5	524.6
3	MP3-3	31.0	250.0	250.3	62562.5	1006.0	519.5
4	MP3-4	31.4	250.8	250.3	62750.2	999.5	507.3

3. Badania sztywności statycznej

Badania przeprowadzono w Wydziałowym Laboratorium Badań Konstrukcji na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Rzeszowskiej. Badania wykonano na odpowiednio do tego przygotowanym stanowisku. Obciążenie przykładano siłownikiem Instron-Schenck klasy 1. W celu uzyskania równomierne-go pola naprężeń zastosowano przegub kulisty. Stanowisko badawcze przedstawiono na fot. 2.



Fot. 2. Widok stanowiska badawczego

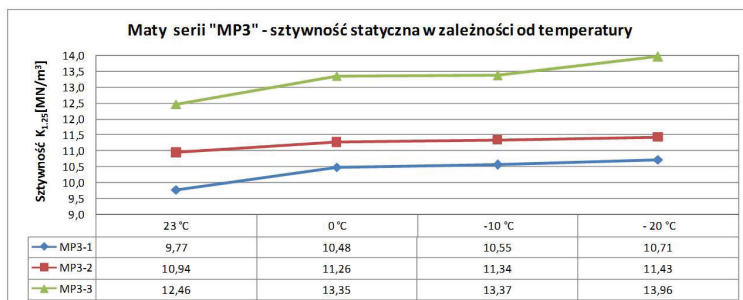
Odształcenia próbek mierzono czterema indukcyjnymi czujnikami przemieszczeń firmy HBM o bazie pomiarowej 20 mm i dokładności odczytu 0.01 mm.

Sztywność badano w temperaturach: $(23 \pm 5)^\circ\text{C}$, $(0 \pm 3)^\circ\text{C}$, $(-10 \pm 3)^\circ\text{C}$, $(-20 \pm 3)^\circ\text{C}$ [4]. Próbki i płyty dociskowe schładzano w zamrażarce, która znajdowała się bezpośrednio obok stanowiska badawczego. Przed każdym badaniem próbki przechowywano w niskiej temperaturze przez min. 16 godz. Każdą próbkę trzykrotnie obciążano i odciążano siłą od 0,1 kN do 8 kN z prędkością 10,8 kN/min. Podczas trzeciego cyklu obciążenia rejestrowano przemieszczenie pionowe próbki i obliczano średnią z czterech czujników przemieszczeń. Sztywność statyczną (sieczną) określono w zakresie obciążeń 0,3 i 1,25 kN, co odpowiada naprężeniom 0,0048 i 0,02 MN/m², korzystając ze wzoru:

$$K_{125} = \frac{0.02 - 0.0048}{d} \text{ [MN/m}^3\text{]} \quad (1)$$

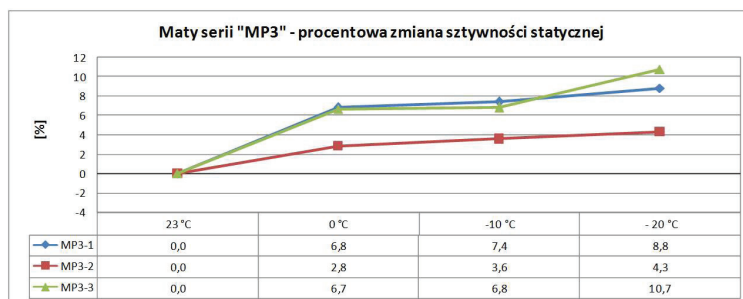
gdzie: „d” oznacza średnią zmianę grubości maty odpowiadającą ww. zmianie naprężeń.

Na rys. 1 przedstawiono wyniki badań sztywności statycznej w zależności od temperatury.



Rys. 1. Zależność sztywności statycznej próbek od temperatury

Procentową zmianę sztywności, wynikającą ze zmiany temperatury, przedstawiono na rys. 2. Jako wartość odniesienia przyjęto temperaturę 23 °C.



Rys. 2. Procentowe zmiany sztywności statycznej wynikające ze zmiany temperatury próbek

Jak można zauważyć, niskie temperatury w niewielkim stopniu wpływają na sztywność statyczną badanych wibroizolacji. Wraz ze spadkiem temperatury sztywność rośnie. W temperaturze -20°C sztywność statyczna jest o max. 10,7% większa od sztywności w temperaturze 23°C.

4. Sztywność dynamiczna

Próbki wibroizolacji poddano obciążeniom sinusoidalnie zmiennym o wartości minimalnej 0,1 kN i maksymalnej 2,6 kN przez 1000 cykli z częstotliwością 5, 10, 15 i 20 Hz. W czasie badań rejestrowano siłę i zmianę grubości próbek 4 czujnikami – końcową zmianę grubości obliczono jako średnią arytmetyczną z tych czterech czujników. Na podstawie ostatnich 10 cykli obciążeń wyznaczono:

- sztywność dynamiczną $K_{d(1,25)}$ odpowiadającą zakresowi obciążeń od 0,3 do 1,25 kN (zmiana naprężeń od 0,0048 i 0,02 MN/m²),
- sztywność dynamiczną $K_{d(1,8)}$ odpowiadającą zakresowi obciążeń od 0,3 do 1,80 kN (naprężenia 0,0048 i 0,0288 MN/m²).

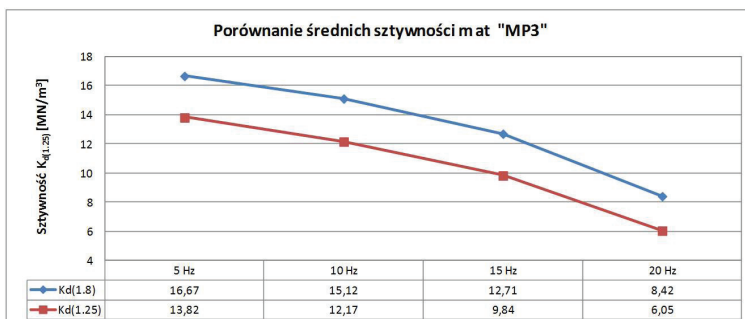
Wartość sztywności obliczono korzystając ze wzorów:

$$K_{d(1,25)} = \frac{0.02 - 0.0048}{d} \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \right] \quad (2)$$

$$K_{d(1,80)} = \frac{0.0288 - 0.0048}{d} \left[\frac{\text{MN}}{\text{m}^3} \right] \quad (3)$$

gdzie: d oznacza średnią zmianę grubości maty odpowiadająca określonej zmianie naprężeń.

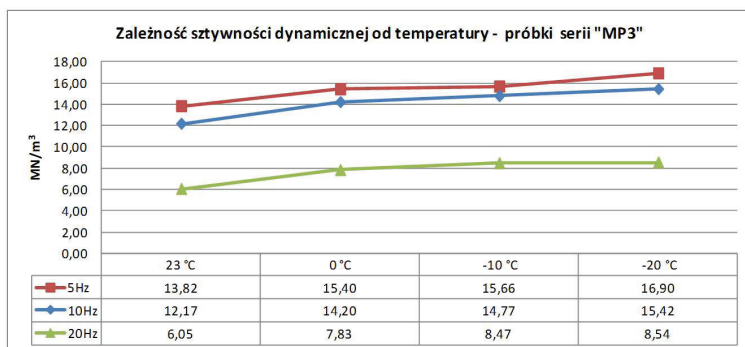
Badania przeprowadzono na tym samym stanowisku, na którym wykonano badania sztywności statycznej. Określono zależność sztywności dynamicznej od temperatury próbki i częstotliwości. Wartości sztywności dynamicznej $K_{d(1,25)}$ i $K_{d(1,80)}$ w temperaturze 23°C przedstawiono na rys. 3.



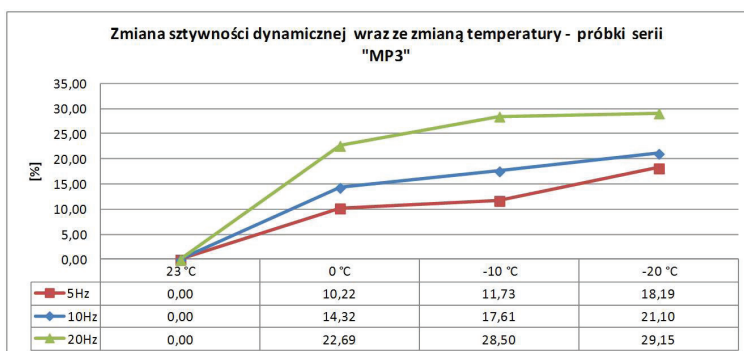
Rys. 3. Średnie sztywności dynamiczne $K_{d(1,25)}$ i $K_{d(1,80)}$

Wraz ze wzrostem częstotliwości obciążenia, wartość sztywności dynamicznej wyraźnie maleje - nawet o ok. 50%.

Sztywności dynamiczne mat w różnych temperaturach przedstawiono na rys. 4, a procentową zmianę sztywności dynamicznej na rys. 5. Podane wartości są wartościami średnimi uzyskanymi z trzech badanych próbek.



Rys. 4. Sztywność dynamiczna $K_{d(1,25)}$ w zależności od temperatury

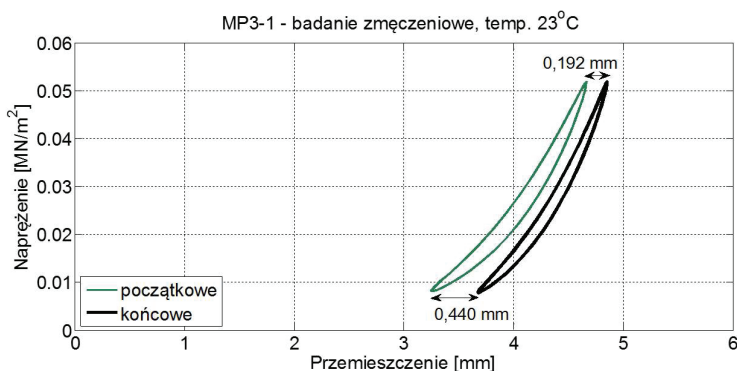


Rys. 5. Procentowa zmiana sztywności dynamicznej wynikająca ze zmiany temperatury próbek

Sztywność dynamiczna mat rośnie wraz ze spadkiem temperatury. W przedziale od $+23^{\circ}\text{C}$ do -20°C sztywność dynamiczna wzrasta od 12 do niemal 30%. Zmiana sztywności jest tym większa, im większa jest częstotliwość - przy częstotliwości 5 Hz sztywność wzrasta o ok. 18%, przy częstotliwości 20 Hz nawet o ok. 29%.

5. Badania zmęczeniowe

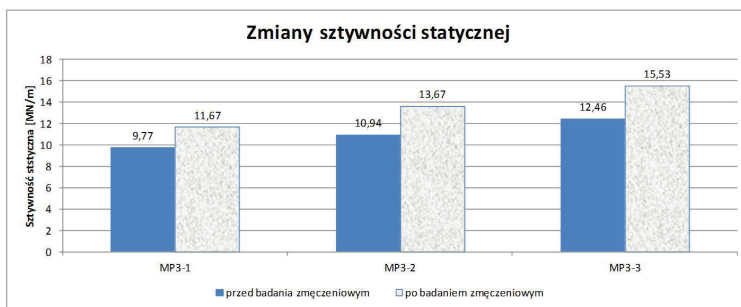
Badania zmęczeniowe wykonano poddając próbki obciążeniom sinusoidalnie zmiennym, o wartości minimalnej 0,5 kN i maksymalnej 3,25 kN i o częstotliwości 5 Hz. Liczba cykli obciążenia wyniosła 2,5 mln. Po przeprowadzeniu badań nie stwierdzono pęknięć i innych uszkodzeń próbek. Względne „zgniecenia” próbek zmierzone podczas 1000 pierwszych i 1000 ostatnich cykli (przed i po badaniu zmęczeniowym) przedstawiono na rys. 6.



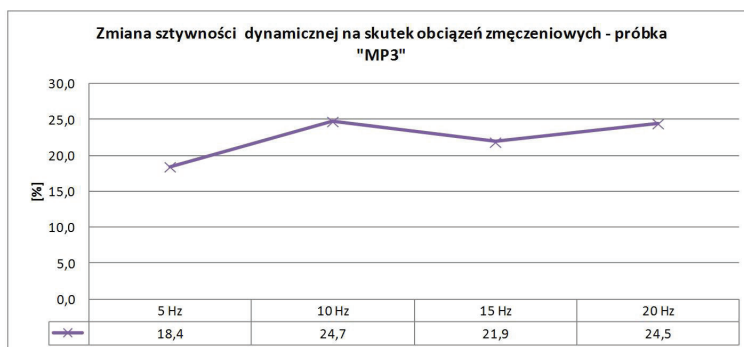
Rys. 6. Porównanie zależności przemieszczenie – naprężenie przed i po obciążeniu zmęczeniowym próbki MP3-1

Zmiany wymiarów (spłaszczenie) spowodowane obciążeniem zmęczeniowym przyjmują przy obciążeniu 0,5 kN wartość 0,44 mm, a przy obciążeniu 3,25 kN

wartość 0,192 mm. Po obciążeniach zmęczeniowych ponownie określono sztywność statyczną i dynamiczną próbek w temperaturze 23°C. Wartości sztywności statycznej dla trzech przebadanych próbek przedstawiono na rys. 7. Sztywność statyczna wzrasta o 19 – 25%. Zmiany sztywności dynamicznej materiału, spowodowane obciążeniami zmęczeniowymi dla wybranej próbki przedstawiono na rys. 8. Wartości sztywności dynamicznej wzrastają o 18 do 25%.



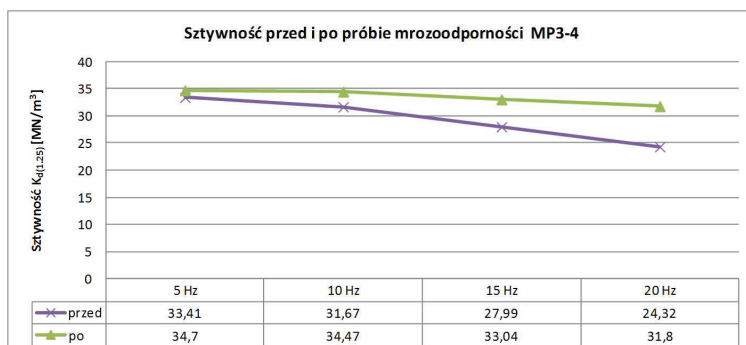
Rys. 7. Zmiany sztywności statycznej próbek spowodowane obciążeniem zmęczeniowym



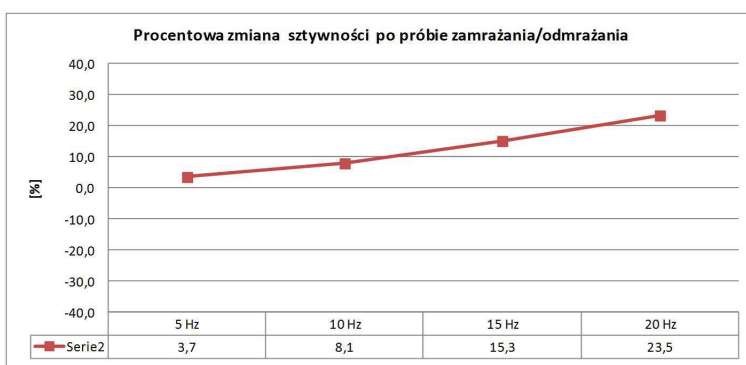
Rys. 8. Procentowe zmiany sztywności dynamicznej spowodowane obciążeniami zmęczeniowymi

6. Ocena mrozoodporności

Badanie mrozoodporności polegało na określeniu sztywności statycznej i dynamicznej próbek w temp. +2°C, następnie poddaniu ich 25 cyklom zamrażania/odmrażania oraz ponownemu określeniu sztywności statycznej i dynamicznej w temp. +23°C. Cykle zamrażania/odmrażania polegały na zamrażaniu próbki w powietrzu i odmrażaniu jej w wodzie. Okres trwania jednego pełnego cyklu wynosił 6 godzin. Próbki zamrażano w temperaturze $-18 \pm 2^\circ\text{C}$ i odmrażano w wodzie w temperaturze $18 \pm 2^\circ\text{C}$. Na rys. 9 zestawiono wartości sztywności, a na rys. 10 procentowe zmiany sztywności.



Rys. 9. Zestawienie wartości sztywności $K_{d(1,25)}$ przed i po badaniu mrozoodporności



Rys. 10. Procentowe zmiany sztywności próbek serii „MP3” powstałe, jako skutek przeprowadzenia próby mrozoodporności

Jak można zauważyć, próba mrozoodporności powoduje zwiększenie sztywności materiału jednak nie więcej niż o 23,5%.

7. Podsumowanie i wnioski

Przedstawione wyniki badań dotyczą jednej partii materiału o założonym przez producenta składzie i procedurze produkcji. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że parametry materiału są na tyle właściwe, że warto prowadzić dalsze, szersze badania na większej liczbie próbek. Z doświadczeń producenta (częściowo popartych badaniami) wynika, że stosunkowo łatwo jest modyfikować cechy proponowanego materiału. Jest to korzystna cecha przyjętej technologii, ponieważ pozwala dobrać parametry odpowiednio do oczekiwań projektanta czy zamawiającego. Trzeba mieć jednak świadomość, że niedotrzymanie reżimu technologicznego i brak kontroli produkcji (badań poszczególnych partii) może spowodować duże rozbieżności między parametrami oczekiwanymi i otrzymanymi.

Bibliografia

- [1] Tówpik K., Infrastruktura transportu kolejowego, Politechnika Warszawska 2009.
- [2] Janas L., Łakota W., Identyfikacja drgań elementów wiaduktu stalowego w celu ograniczenia hałasu. XIV Seminarium: Współczesne metody wzmocnienia i przebudowy mostów, Poznań 2004.
- [3] Kowalska Z., Badania laboratoryjne przekładek podszynowych w przytwierdzeniach szyn kolejowych według norm CEN, Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 152, tom 55/2011.
- [4] PN-EN 13146-9:2010, Kolejnictwo. Metody badań systemów przytwierdzeń. Część 9: Określenie sztywności.