

# Badania laboratoryjne prototypowej wibroizolacji szyn tramwajowych

## Laboratory tests of the prototype tram rails vibroisolation



Lucjan Janas

Politechnika Rzeszowska

ljanas@prz.edu.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań prototypowych wibroizolacji szyn tramwajowych wykonanych ze zużytych opon samochodowych, w systemie „szyna w otulinie”. Określono sztywności statyczne i dynamiczne proponowanych wibroizolacji oraz określono wpływ temperatury na zmianę tych sztywności. Sztywności dynamiczne podano dla różnych częstotliwości obciążenia. Przedstawiono również wpływ obciążeń zmęczeniowych na parametry badanego systemu.

**Słowa kluczowe:** Drogi szynowe; Wibroizolacja; Szyna w otulinie; Badania laboratoryjne

**Abstract:** The article presents the results of prototype vibroisolation tram rails, made from used tires, as embedded rail system. Static and dynamic stiffness of the proposed vibroisolation were determined. The effect of temperature on the change of stiffness was presented. Dynamic stiffness are given for the different frequency load. The impact of fatigue loads on the parameters of the system was also presented.

**Keywords:** Railways; Vibroisolation; Embedded rail; Laboratory tests

Jak wiadomo wibroizolacje w nawierzchniach szynowych stosuje się w celu ochrony budowli, ludzi znajdujących się w budynkach przed drganiami oraz w celu ograniczenia hałasu. Wibroizolacje zwiększają też stabilność torów i redukują naciski na podłoże. Na sieci dróg szynowych, w szczególności tramwajowych, stosowanie materiałów wibroizolacyjnych jest zazwyczaj konieczne.

Właściwy dobór parametrów wibroizolacji pozwala na zminimalizowanie niekorzystnych oddziaływań ruchu szynowego na środowisko, przy czym ważne jest aby parametry zastosowanego materiału nie ulegały znaczącym zmianom w czasie. Krytyce poddaje się procedury badań laboratoryjnych [2], coraz większą wagę przykładają się do badań zmęczeniowych i badań sztywności w różnych, w szczególności w niskich temperaturach.

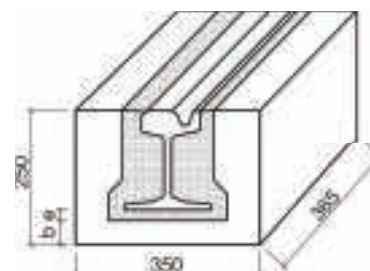
W niniejszym referacie przedstawiono wybrane rezultaty badań pro-

totypowej wibroizolacji szyn tramwajowych przeznaczonej do stosowania w systemie „szyna w otulinie” wyprodukowanej przez firmę Mostostal-Warszawa. Nowy materiał ma spełniać nie tylko funkcję redukcji drgań i hałasu, ale również przyczynić się do utylizacji odpadów ponieważ został zaprojektowany z przetworzonych, zużytych opon samochodowych. Przedstawione badania wykonano w Wydziałowym Laboratorium Badań Konstrukcji na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej. W laboratorium badano również wibroizolacje w postaci podkładek podszytowych – ich wyniki omówiono m.in. w [1].

### Opis badanego materiału

Głównym składnikiem do produkcji badanych wibroizolacji był granulak gumowy uzyskany z recyklingu zużytych opon samochodów osobowych. Widok próbki gotowej do badań

przedstawiono na rys. 1. Wielkość ziaren zastosowanego granulatu zawierała się w przedziale 1÷4 mm, oznaczanie składu ziarnowego granulatu gumowego zamieszczono w tab. 1. Jako spoiwo granulatu zastosowano żywicę polimerową. Ilość zastosowanej żywicy dobierano w taki sposób, aby pokryła powierzchnie zewnętrz-



1. Widok i wymiary próbek przeznaczonych do badań

**Tab. 1.** Skład granulometryczny próbki granulatu gumowego [1]

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

ne ziaren i po związaniu utworzyła spójną strukturę odporną na działanie obciążeń zewnętrznych.

Jednorodną mieszaninę granulatu i żywicy układano w stalowych formach, w której wcześniej umieszczono szynę, i odpowiednio zagęszczano. W celu przyspieszenia sieciowania żywicy, formy wypełnione plastyczną masą wygrzewano. Następnie szynę w otulinie umieszczono w większej formie i obetonowano. W ten sposób przygotowano próbki do badań, przy



**2.** Widok stanowiska badawczego

czym technologia wykonania była analogiczna do planowanej technologii produkcji rzeczywistego odcinka toru.

Podstawowe parametry geometryczne próbek przedstawiono w tab. 2. Przed badaniami próbki zostały sprawdzone pod względem występowania ewentualnych rys, pęknięć czy odspojień. Uszkodzeń tego typu nie stwierdzono.

### Badania sztywności statycznej

Badania wykonano na odpowiednio do tego przygotowanym stanowisku – rys. 2. Obciążenie przykładano

siłownikiem Instron-Schenck klasy 1. Odkształcenia próbek mierzono czujnikami prze-mie-szczeń firmy HBM o bazie pomiarowej 20 mm.

Badania przeprowadzono wg wytycznych producenta, zgodnie z procedurą przyjętą w [3]. Każdą próbkę sześciokrotnie obciążano i odciążano w zakresie od 0,5 kN do 85 kN. Prędkość obciążenia wynosiła 50 kN/min. Podczas ostatniego cyklu rejestrowano przemieszczenie pionowe szyny. Następnie obliczono sztywność pionową pomiędzy 5 i 80 kN, korzystając ze wzoru:

$$K_{80} = \frac{75}{d} \text{ [kN/mm]} \quad (1)$$

gdzie: d – średnie przemieszczenie szyny między obciążeniem 5 i 80 kN.

Ponadto, analogicznie wyznaczono wartość sztywności w zakresie obciążeń 5-40 (K40), 5-30 kN (K30) i 5-14 kN (K14).

Sztywność statyczną próbek oraz sztywność 1 mb systemu, określoną w temp. 23°C, przedstawiono w tab. 3.

W czasie badań statycznych stwierdzono odspojenia elastomeru od szyny – rys. 3. Ponadto w próbkach serii „BP” wystąpiło zarysowanie (pęknięcie) podstawy próbki.

Sztywność statyczną badano w temperaturze pokojowej (23±5)°C oraz w temperaturach (0±3)°C, (-10±3)°C, (-20±3)°C. Próbkę schładzano w zamrażarce, która znajdowała się bezpośrednio obok stanowiska badawczego. Przed każdym badaniem próbki przechowywano w niskiej temperaturze przez min. 16 godz. Przykładowe wyniki badań przedstawiono na rys. 4.

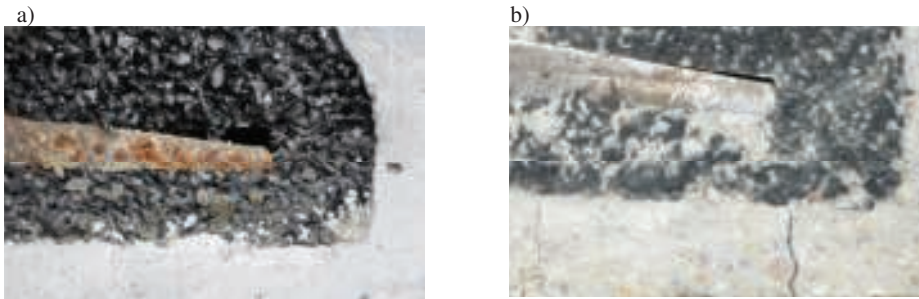
Badania wykazały, że temperatura

**Tab. 2.** Zestawienie badanych próbek (e – oznacza grubość elastomeru pod stopką)

| Lp. | Oznaczenie próbki – bloku | Grubość elastomeru „e1” [mm] | Grubość elastomeru „e2” [mm] | Średnia grubość „e” [mm] |
|-----|---------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------|
| [-] | [-]                       | [mm]                         | [mm]                         | [mm]                     |
| 1   | B1                        | 31,0                         | 29,0                         | 30,0                     |
| 2   | B2                        | 30,0                         | 31,0                         | 30,5                     |
| 3   | B2-1                      | 35,0                         | 38,0                         | 36,5                     |
| 4   | B2-2                      | 32,0                         | 30,0                         | 31,0                     |
| 5   | BP-1                      | 23,5                         | 25,5                         | 24,5                     |
| 6   | BP-2                      | 26,0                         | 26,0                         | 26,0                     |
| 7   | BP2-1                     | 25,0                         | 30,0                         | 27,5                     |
| 8   | BP2-2                     | 30,0                         | 30,0                         | 30,0                     |
| 9   | BP2-3                     | 31,0                         | 35,0                         | 33,0                     |

**Tab. 3.** Sztywność statyczna pionowa

| Lp  | Oznaczenie próbki | Sztywność statyczna – pionowa [kN/mm] |       |        |       |        |       |        |       |
|-----|-------------------|---------------------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|     |                   | K80                                   |       | K40    |       | K30    |       | K14    |       |
| [-] | [-]               | próbka                                | 1 mb  | próbka | 1 mb  | próbka | 1 mb  | próbka | 1 mb  |
| 1   | B1                | 10.64                                 | 30.40 | 8.62   | 24.63 | 8.55   | 24.43 | 9.17   | 26.20 |
| 2   | B2                | 12.10                                 | 34.57 | 9.84   | 28.11 | 9.87   | 28.20 | 11.26  | 32.17 |
| 3   | B2-1              | 18.15                                 | 51.86 | 17.63  | 50.37 | 18.48  | 52.80 | 21.18  | 60.51 |
| 4   | B2-2              | 15.89                                 | 45.40 | 15.17  | 43.34 | 15.75  | 45.00 | 17.93  | 51.23 |
| 5   | BP-1              | 21.43                                 | 61.23 | 19.74  | 56.40 | 19.98  | 57.09 | 21.08  | 60.23 |
| 6   | BP-2              | 33.97                                 | 97.06 | 31.56  | 90.17 | 30.56  | 87.31 | 27.69  | 79.11 |
| 7   | BP2-1             | 11.58                                 | 33.11 | 9.23   | 26.37 | 9.19   | 26.26 | 10.48  | 29.97 |
| 8   | BP2-2             | 18.47                                 | 52.77 | 18.79  | 52.83 | 19.81  | 56.60 | 22.84  | 65.26 |
| 9   | BP2-3             | 10.0                                  | 28.57 | 7.84   | 22.40 | 7.69   | 21.97 | 8.44   | 24.11 |



3. Odspojenia elastomeru od stopki szyny w czasie badań sztywności statycznej pionowej: a) próbka serii „B”, b) próbka serii „BP”

istotnie wpływa na sztywność statyczną badanego materiału. Spadek temperatury z +23 do -20 °C powoduje zmianę sztywności o 25 do 45%.

### Badania sztywności dynamicznej

Próbki poddano cyklicznym obciążeniom o wartości minimalnej  $F_2=5$  kN i maksymalnej  $F_1=35$  kN, przez 1000 cykli. Obciążenia przykładano z częstotliwościami: 0,5, 1,0, 4,0 i 5,0 Hz. W czasie badań rejestrowano siłę i przemieszczenia, na podstawie ostatnich 100 cykli obliczano sztywność dynamiczną. Korzystano ze wzoru:

$$K_{d(1.25)} = \frac{F_1 - F_2}{d_1 - d_2} \text{ [kN/mm]} \quad (2)$$

gdzie:  $d_1$  i  $d_2$  – wartości uśrednione pionowego przemieszczenia szyny odpowiadające sile maksymalnej  $F_1$  i minimalnej  $F_2$

Wartość sztywności dynamicznej próbek przy częstotliwości 4 Hz, określone w temperaturze +23°C przedstawiono w tabl. 4.

Sztywność dynamiczną w zależności od temperatury i częstotliwości przedstawiono na rys. 5.

Sztywność dynamiczna, co oczywiste, jest różna dla różnych często-

Tab. 4. Sztywność dynamiczna przy częstotliwości 4 Hz, w temperaturze +23°C

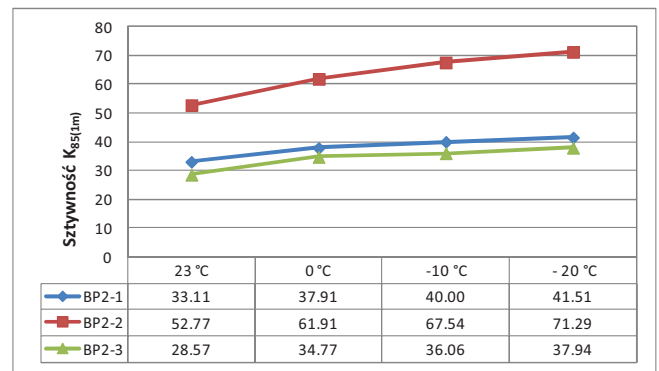
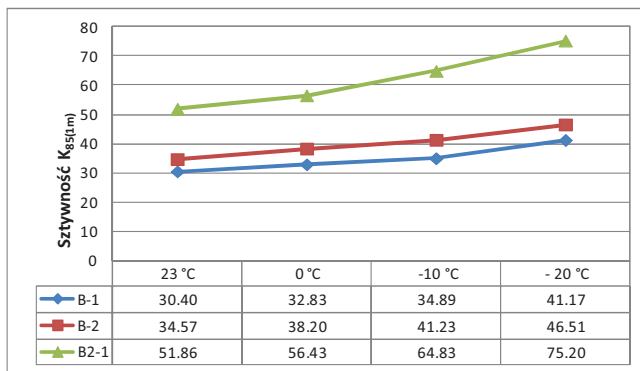
| Lp. | Oznaczenie próbki | Sztywność dynamiczna $K_d$ [kN/mm] |              |
|-----|-------------------|------------------------------------|--------------|
|     |                   | próbka o długości 0,35m            | 1 mb systemu |
| 1   | B1                | 13.35                              | 38.14        |
| 2   | B2                | 17.08                              | 48.80        |
| 3   | B2-1              | 28.93                              | 82.66        |
| 4   | B2-2              | 27.20                              | 77.71        |
| 5   | BP-1              | 34.13                              | 97.51        |
| 6   | BP-2              | 49.75                              | 142.14       |

ści obciążenia. Sztywność ta w dużym stopniu zmienia się wraz ze zmianą temperatury. W badanym zakresie +23 do -20°C sztywność dynamiczna zmienia się nawet dwukrotnie.

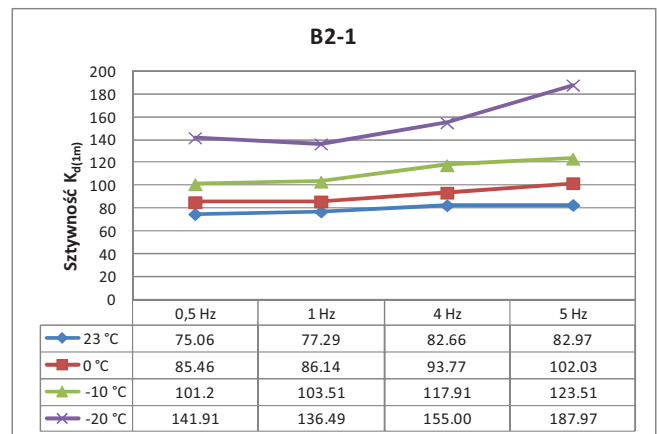
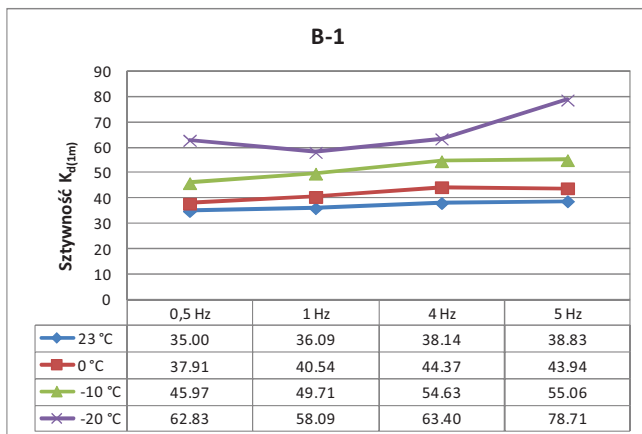
### Badania zmęczeniowe

Chcąc sprawdzić trwałość systemu „szyny w otulinie” przeprowadzono badania zmęczeniowe.

Badanie polegało na powtarzaniu obciążenia o stałej amplitudzie, przez okres trzech milionów cykli. Kąt pochylecia obciążenia wynosił 22° w stosunku do osi szynki. Zastosowano obciążenie sinusoidalnie zmienne w



4. Sztywność statyczna K80 próbek serii „B” i „BP” w zależności od temperatury



5. Sztywność dynamiczna próbek B-1 i B2-1 w zależności od temperatury i częstotliwości



6. Widok stanowiska badawczego do testów zmęczeniowych

zakresie 5 kN do 50 kN, częstotliwość 5 Hz. Procedura badań była następująca:

- badania sztywności statycznej i dynamicznej przed obciążeniem,
- obciążenie zmęczeniowe - 3mln cykli,
- badania sztywności statycznej i dynamicznej po obciążeniu zmęczeniowym.

Do badań wykorzystano siłownik hydrauliczny o zakresie  $\pm 100$  kN oraz 4 czujniki indukcyjne, dwa z zakresem  $\pm 10$  mm dla zarejestrowania ruchu poziomego główki szyny i dwa z zakresem  $\pm 5$  mm dla ruchu pionowego stopy szyny. Stanowisko badawcze przedstawiono na rys. 6.

Podczas pierwszego i ostatniego tysiąca cykli, przez co najmniej jeden cykl, mierzono przemieszczenie dynamiczne główki i stopki szyny

względem bloku betonowego. Na rys. 7 przedstawiono typowe uszkodzenia próbek, pojawiające się już po ok. 5 tys. cykli obciążenia i po zakończeniu testu. Były to przede wszystkim odspojenia materiału wibroizolacyjnego od szyny.

Przykładowe wyniki badań zmęczeniowych w postaci przemieszczeń na początku badań i po 3 mln cykli przedstawiono na rys. 8 i 9. Zmiany sztywności przedstawiono na rys. 10.

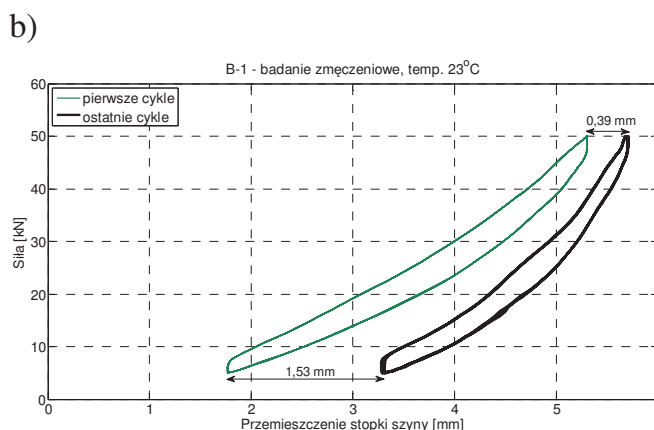
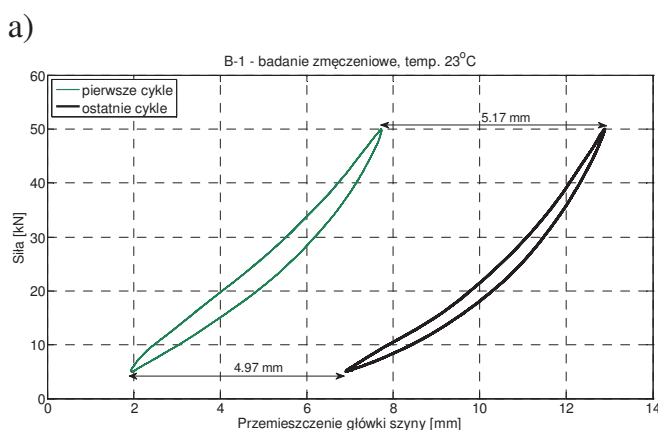
Obciążenia zmęczeniowe spowodowały przemieszczenie szyny rzędu 6 mm w kierunku poziomym i 0.5 do 1.7 mm w kierunku pionowym. Sztywność statyczna i dynamiczna wzrosła po próbie zmęczeniowej o max. 20 %.

## Wnioski

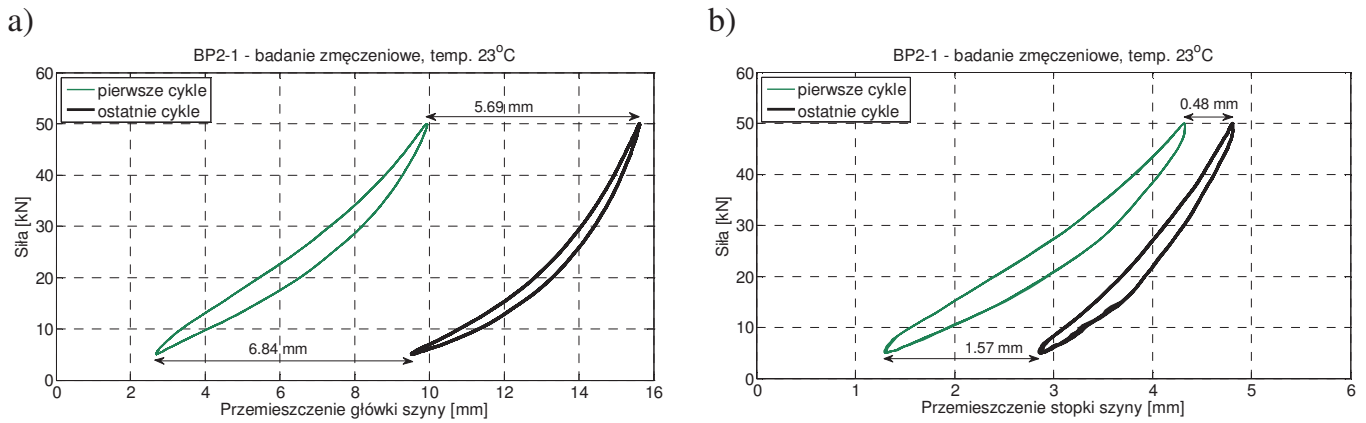
Przedstawione wyniki badań dotyczą prototypowych wibroizolacji szyn tramwajowych, wykonanych w systemie „szyna w otulinie”. Niewątpliwą



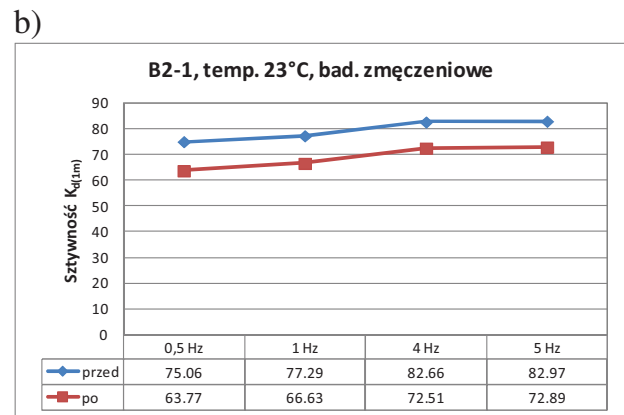
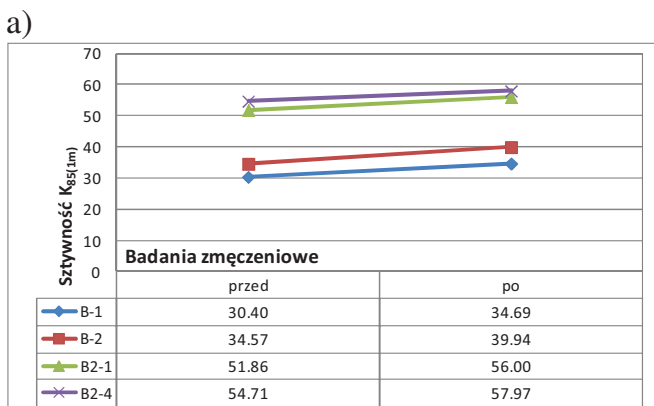
7. Widok uszkodzeń próbki serii „B”: a) odspojenie główki szyny od elastomeru po 5 tys. cykli, b) odspojenie od główki i szynki po 3 mln cykli



8. Wynik testu zmęczeniowego próbki B-1: a) przemieszczenia poziome główki, b) przemieszczenia pionowe stopki szyny



9. Wynik testu zmęczeniowego próbki BP2-1: a) przemieszczenia poziome główki, b) przemieszczenia pionowe stopki szyny



10. Sztwywność statyczna (a) i dynamiczna (b) próbek przed i po obciążeniu zmęczeniowym

zaletą proponowanego rozwiązania jest zastosowanie materiału otrzymanego z recyklingu zużytych opon samochodowych. Uzyskane wyniki pozwalają stwierdzić, że parametry materiału są na tyle właściwe, że warto prowadzić dalsze badania.

Proponowany system, pod wpływem temperatury znacznie zmienia swoje parametry. Sztwywność statyczna zmienia się nawet o 45 %, sztywność dynamiczna nawet dwukrotnie.

Obciążenia zmęczeniowe w stosunkowo niewielkim stopniu zmieniają sztywność statyczną i dynamiczną, stwierdzono jednak odspojenia materiału, znaczne przemieszczenia szyny i uszkodzenia, które mogą zmniejszyć trwałość systemu i skrócić okres jego użytkowania. Stosunkowo szybko pojawiają się pęknięcia i szczeliny między szyną a materiałem wibroizolacyjnym.

Z doświadczeń producenta, częściowo potwierdzonych powyższymi badaniami wynika, że stosunkowo łatwo jest modyfikować cechy propo-

nowanego materiału. Z jednej strony jest to korzystna cecha przyjętej technologii, ponieważ pozwala dobrać parametry odpowiednie do potrzeb. Z drugiej strony brak kontroli produkcji (brak badań poszczególnych partii) może spowodować duże rozbieżności między parametrami oczekiwanymi i otrzymanymi.

Potrzeba badań, w tym przede wszystkim badań w niskich temperaturach i badań zmęczeniowych dotyczy nie tylko rozwiązań nowatorskich, prototypowych. Badania takie powinny być wykonywane również w celu kontroli parametrów materiałów już znanych i stosowanych. Należy przy tym pamiętać, że warunki klimatyczne w naszym kraju są inne niż w większości krajów Europy zachodniej i nie można bezkrytycznie przejmować stosowanych tam technologii. ◀

## Materiały źródłowe

- [1] Janas L., Jurczuk J., Poneta P.: Badania laboratoryjne prototypowych wibroizolacji przeznaczonych do stosowania w nawierzchniach szynowych. Zeszyty Naukowe SITK RP, Oddział w Krakowie nr 2 (101)/2013, s. 121-129.
- [2] Kowalska Z.: Badania laboratoryjne przekładek podszytowych w przytwierdzeniach szyn kolejowych według norm CEN, Problemy Kolejnictwa, Zeszyt 152, tom 55/2011
- [3] PN-EN 13146-9:2010. Kolejnictwo. Metody badań systemów przytwierdzeń. Część 9: Określenie sztywności.