

Wybrane badania laboratoryjne podkładek podpodkładowych (USP) stosowanych w nawierzchni kolejowej

Selected laboratory tests on under sleeper pads (USP) used in the railway track system



Cezary Kraśkiewicz

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

c.kraskiewicz@il.pw.edu.pl



Wojciech Oleksiewicz

Dr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

w.oleksiewicz@il.pw.edu.pl



Kacper Wasilewski

Mgr inż.

Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Inżynierii Budowlanej

k.wasilewski@il.pw.edu.pl

Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki badań odporności na obciążenia zmęczeniowe i na warunki atmosferyczne kilku prototypowych podkładek podpodkładowych, określanych dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads). W referacie zamieszczono wyniki badań statycznych i dynamicznych przeprowadzonych na próbkach trzech materiałów, z których wyprodukowano podkładki USP. Badania zmęczeniowe wykonywane były do 500 tysięcy cykli obciążenia i miały na celu wstępną ocenę, które z podkładek USP powinny zapewnić w trakcie eksploatacji stabilne właściwości po ich zastosowaniu w nawierzchni kolejowej jako elementów redukujących naprężenia występujące w podsypce – w szczególności w warstwie bezpośrednio pod podkładem – oraz redukujących emitowane do otoczenia drogi kolejowej drgania materiałowe i akustyczne (wibracje i hałas). W badaniach wpływu warunków atmosferycznych na ustalone cechy podkładek USP, próbki te zostały przytwierdzone do betonowych kostek i zanurzone w wodzie na 24 h, a następnie umieszczone w komorze klimatycznej, gdzie były poddane naprzemiennym cykлом zamrażania-odmrażania. Wyniki badań wykazały, że oba rodzaje przeprowadzonych testów wpływają na zmianę sztywności podkładek USP, co z kolei ma wpływ na ich właściwości tłumiące.

Słowa kluczowe: Podkładki podpodkładowe (USP); Badania materiałowe; Sztywność; Trwałość; Odporność na warunki atmosferyczne

Abstract: In the present paper results of the tests for fatigue strength and resistance to severe environmental conditions performed on several prototypical under sleeper pads (USP) are presented. The work includes results of the static and dynamic tests carried out on samples of three materials, which were used to produce the USP. The fatigue tests were performed up to 500 thousand load cycles and they aimed at determining which of the analysed USP have favourable properties, taking into account their potential application as the elements used for reduction of stresses in the ballast – especially in the ballast layer directly under the sleeper – and reduction of the material and acoustic vibration emitted to the railway track's surrounding (vibration and noise). In the climatic tests that were aimed at determining the influence of severe environmental conditions on the properties of USP, the samples were attached to concrete blocks and immersed in water for 24 h and then placed in a climatic chamber, where they were subjected to freeze-thaw cycles. The results show that both the fatigue and climatic tests have influence on the damping-related parameters of the USP, what affects the effectiveness of the vibration isolation.

Keywords: Under sleeper pads (USP); Material tests; Stiffness; Durability; Resistance to severe environmental conditions

Podkładki podpodkładowe [1, 3, 5, 6, 7, 11], określane dalej skrótowo jako „podkładki USP” (od ang. under sleeper pads) są stosowane przede wszystkim w nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej w celu zmniejszenia dynamicznych oddziaływań od ruchu pociągów, przekazywanych od kół pojazdów poprzez toki szynowe, elementy systemu przytwierdzenia i podpory szynowe (podkłady lub podrozjazdnice) na podsypkę tłuczniovą. Podkładki USP mogą pokrywać w całości powierzchnię dolną podkładu/podrozjazdnicy (rys. 1a) lub występować tylko w strefie podszynowej (rys. 1b).

W nawierzchni kolejowej o konstrukcji podsypkowej podkładki USP powinny spełniać następujące funkcje:

- ograniczać niekorzystny wpływ ruchu kolejowego na środowisko poprzez zmniejszenie poziomu oddziaływań w postaci drgań materiałowych i akustycznych (wibracji i hałasu);
- redukować naprężenia występujące w warstwie podsypki poprzez zwiększenie powierzchni kontak-

tu pomiędzy spodem podkładu i podsypką, zwiększając w ten sposób trwałość eksploatacyjną konstrukcji nawierzchni.

Na rynku oferowanych jest wiele odmian materiałowych podkładek USP różniących się grubością i sztywnością, co umożliwia ich stosowanie w szerokim zakresie obciążeń i prędkości pociągów, przy różnych rozwiązaniach konstrukcji nawierzchni kolejowej i różnych wymaganiach dotyczących



1. Podkładka USP: a) całkowite pokrycie powierzchni dolnej podkładu; b) częściowe pokrycie powierzchni dolnej podkładu

spełnienia wymienionych powyżej funkcji - każdej z osobna lub łącznie.

Każda z tych funkcji wymaga spełnienia wymagań dotyczących wytrzymałości i trwałości materiału, z którego są wykonane podkłady USP oraz ich połączenia z podkładem lub podrozjazdnicą.

Jeśli główną funkcją zastosowania podkładów USP jest redukcja oddziaływań na środowisko, to oprócz wytrzymałościowych kryteriów, podstawowymi kryteriami doboru konkretnej odmiany podkładów USP powinny być uwzględniane w analizach modelowych takie parametry, jak:

- dopuszczalna wartość ugięcia szyny, która nie jest ustalona w przepisach PKP PLK (standardach technicznych) dla określonych warunków eksploatacyjnych przypisanych do poszczególnych typów linii i klas torów;
- częstotliwość drgań własnych obiektów, które należy chronić przed destrukcyjnym wpływem wibracji od przejazdu pociągów, przy czym częstotliwość ta jest parametrem związanym wieloma czynnikami – głównie z konstrukcją i warunkami gruntowo-wodnymi posadowienia poszczególnych obiektów i może być ona określana na podstawie badań numerycznych lub empirycznych.

Jeśli zaś zastosowanie podkładów USP ma na celu głównie redukcję naprężeń występujących w warstwie podsypki, to kryteria doboru odpowiedniej odmiany podkładów mogą ograniczać się do badania i analiz parametrów mechanicznych określających trwałość i wytrzymałość materiału tych podkładów.

Podkłady USP są produkowane z materiałów elastomerowych (najczęściej w zakresie grubości 5 ÷ 20 mm) i występują w dwóch odmianach materiałowych: na bazie poliuretanu z porami zamkniętymi lub otwartymi oraz na bazie mieszanek kauczuku naturalnego i kauczuku syntetycznego.

Przedstawione w referacie badania mają charakter wstępnego rozpozna-

nia cech materiałowych wybranych trzech odmian podkładów USP i dokonania na podstawie wyników tych badań wyboru co najmniej jednej z tych odmian do dalszych kompleksowych badań laboratoryjnych ustalonych w programie projektu. Program przeprowadzonych badań jest oparty na normie PN-EN 16730 [8] z uwzględnieniem ilościowego ograniczenia cykli obciążeń uzasadnionego wstępnym, rozpoznawczym charakterem badań, których zakres jakościowy obejmuje procedury badawcze obowiązkowych parametrów normowych przypisanych w normie [8] dla badań dotyczących dopuszczenia rodzaju budowli (homologacji produktu), a nie procedur dotyczących badań kontroli jakości wyrobów, które są także objęte tą normą.

Statyczne i dynamiczne sprężyste właściwości podkładów USP

Podstawowymi parametrami charakteryzującymi sprężyste właściwości podkładów USP, ocenianych z uwagi na ich główne funkcje opisane powyżej, są statyczne i dynamiczne moduły sztywności [4, 5, 6]. Wpływają one na skuteczność tłumienia transmisji wibracji i emisji hałasu do otoczenia linii kolejowych [12]. Dla podkładów USP o większej wartości modułów sztywności skuteczność ta będzie mniejsza niż dla podkładów o mniejszych wartościach modułów sztywności. Jednak trzeba mieć na uwadze, że zastosowanie podkładki USP o bardzo małej wartości statycznego modułu sztywności, skutkuje większym ugięciem pionowym szyny wywołującym zjawiska zmęczeniowe w szynie i w innych elementach składowych konstrukcji nawierzchni kolejowej. Wartości statycznego i dynamicznego modułu sztywności podkładki USP mogą zawierać się w szerokim przedziale wartości. W przypadku statycznego modułu sztywności wynosi ona zwykle od ~0,02 N/mm³ do ~0,35 N/mm³ i zależy od m.in. rodzaju i struktury materiału, grubości podkładki, wartości przedziału obciążenia, w jakim

określany jest moduł sztywności oraz częstotliwości obciążeń w przypadku modułu dynamicznego.

Statyczne moduły sztywności podkładki USP C_{stat} , C_{tend} [N/mm³] są stosunkiem statycznego nacisku/naprężenia o określonej wartości [N/mm²], przyłożonego do próbki o określonej powierzchni przekroju, do ugięcia próbki [mm] które ten nacisk powoduje. Charakteryzuje on ugięcie toku szynowego pod naciskiem nieporuszającego się taboru i ma wpływ na ugięcie pionowe rusztu torowego. Wartość statycznego modułu sztywności podkładki USP 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: tramwaj, metro, kolej miejska czy kolej ciężka. Zakresy te w zależności od parametrów eksploatacyjnych (maksymalna prędkość i naciski osiowe) są określone w normie PN-EN 16730 [8] dla czterech kategorii toru: TC1, TC2, TC3 i TC4 (TC – skrót od ang. Track Category) zdefiniowanych w tej normie.

Dynamiczny moduł sztywności podkładki USP jest stosunkiem dynamicznego nacisku o określonej wartości i częstotliwości, przyłożonego do próbki o określonym polu przekroju, do ugięcia próbki które ten nacisk powoduje. Charakteryzuje on zatem pracę podkładki USP pod naciskiem poruszającego się taboru. 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 [8].

Trwałość eksploatacyjna podkładów USP

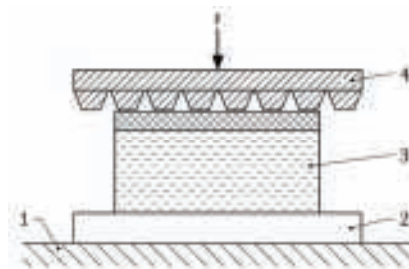
Trwałość (zdatność) eksploatacyjną podkładów USP ocenia się poprzez badanie ich mechanicznej wytrzymałości zmęczeniowej i wpływu długo-

trwałych obciążeń dynamicznych na zmienność ustalonych parametrów w odniesieniu do wartości zidentyfikowanej na początku badań. Badanie to polega na trzystopniowym obciążeniu dynamicznym próbki podkładki USP przyklejonej do kostki betonowej, 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:

- przedziału wartości statycznego modułu sztywności badanej podkładki – wartości siły są przyjmowane narastająco w zależności od wartości statycznego modułu sztywności badanej podkładki;
- kategorii toru TC – wartości siły przyjmowane narastająco w zależności od nacisku osi i prędkości przypisanych w normie [8] do poszczególnych kategorii toru;
- 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 USP obejmuje stwierdzenie braku określanych wizualnie uszkodzeń mechanicznych podkładki, takich jak np. jej zgniecenie, pęknięcia, rozerwania itp., a także określenie zakresu zmiany wartości statycznego i dynamicznego (dla 5 Hz) modułu sztywności podkładki wywołanej długotrwałym obciążeniem dynamicznym. Mając na uwadze nawierzchnię o konstrukcji podsypkowej, wymiana podkładki USP o zbyt małej trwałości wiązałaby się z naprawą główną nawierzchni (wymianą rusztu torowego). Dlatego tak istotna jest ta właściwość dla Zarządców infrastruktury, którzy nie mogą sobie pozwolić na to, aby trwałość podkładki USP odbiegała od trwałości podkładu lub podrozdziadnicy.

W niniejszym artykule przedstawiono wyniki badań wytrzymałości zmęczeniowej dla trzech różnych (materiałowo) podkładek USP:



a)



b)

2. Badanie wytrzymałości zmęczeniowej podkładek USP: a) schemat badania (1 – sztywne i nieodkształcalne podłoże/podparcie, 2 – stalowa płyta, 3 – podkładka USP zamocowana do kostki betonowej, 4 – profilowana płyta dociskowa/obciążeniowa GBP); b) próbka materiału nr 002 na stanowisku badawczym

- 002 – podkładka na bazie granulatu gumowego SBR (v. 1) o gr. 9 mm;
- 004 – podkładka na bazie granulatu gumowego SBR (v. 2) o gr. 9 mm;
- 007 – podkładka na bazie poliuretanu o gr. 7 mm.

Podkładki nr 002 i 004 wykonane są w dwóch wersjach na bazie z tego samego surowca, jednak różnią się technologią produkcji i gęstością.

Badane próbki miały wymiary 250 mm x 250 mm x grubość USP i były przyklejone do betonowych kostek o wymiarach 250 mm x 250 mm x 100 mm. Testy (rys. 2) przeprowadzono w temperaturze pokojowej z zastoso-

waniem specjalnie profilowanej figurami geometrycznymi, stalowej płyty GBP (od ang. Geometric Ballast Plate) [6, 8]. Dla każdej próbki wyznaczono trzy parametry dla kategorii toru TC3: C_{stat} – statyczny moduł sztywności dla przeważającego w eksploatacji zakresu obciążenia (0,01÷0,1) N/mm², C_{tend} – statyczny moduł sztywności dla zakresu obciążenia (0,01÷0,2) N/mm² oraz C_{dyn05} – dynamiczny moduł sztywności dla częstotliwości obciążenia 5 Hz, wyznaczony metodą siłową (pulsator sterowany wartością zadanego przedziału działających sił obciążenia próbki). Badania wykonywane były do 500 tys. cykli (wartość mniejsza niż normowe 3 mln cykli), co jest uzasadnione wstępnym cha-

Tab. 1. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 002 oraz ich zmiany po kolejnych seriach obciążeń – badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Parametr	Moduł sztywności [N/mm ³]							ΣΔ [%]
	002_0	002_100	002_200	002_300	002_400	002_500	002_500_post	
C_{stat} (0,01-0,10)	0,051	0,059	0,059	0,061	0,061	0,059	0,053	3,9
C_{tend} (0,01-0,20)	0,073	0,082	0,082	0,084	0,084	0,082	0,075	2,7
C_{dyn05}	0,069	0,076	0,076	0,078	0,079	0,077	0,071	2,9

Tab. 2. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 004 oraz ich zmiany po kolejnych seriach obciążeń – badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Parametr	Moduł sztywności [N/mm ³]							ΣΔ [%]
	004_0	004_100	004_200	004_300	004_400	004_500	004_500_post	
C_{stat} (0,01-0,10)	0,054	0,070	0,070	0,073	0,077	0,077	0,076	40,7
C_{tend} (0,01-0,20)	0,080	0,100	0,100	0,103	0,107	0,107	0,107	33,8
C_{dyn05}	0,075	0,088	0,088	0,092	0,096	0,098	0,103	37,3

Tab. 3. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 007 oraz ich zmiany po kolejnych seriach obciążeń – badanie wytrzymałości zmęczeniowej

Parametr	Moduł sztywności [N/mm ³]							ΣΔ [%]
	007_0	007_100	007_200	007_300	007_400	007_500	007500_post	
C_{stat} (0,01-0,10)	0,087	0,103	0,108	0,108	0,111	0,113	0,088	1,1
C_{tend} (0,01-0,20)	0,117	0,133	0,139	0,138	0,142	0,144	0,120	2,6
C_{dyn05}	0,111	0,130	0,139	0,139	0,143	0,145	0,117	5,4

rakterem badania i wystarczające do wyselekcjonowana podkładek USP do dalszych analiz i odrzucenia tych, które nie rokują nadziei, że spełnią wymagania jako element wibroizolacyjny o trwałych właściwościach.

Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności oraz ich zmiany przed i po badaniu wytrzymałości zmęczeniowej dla trzech próbek przedstawiono w tabelach 1-3. W tabeli zawarto wartości początkowe (przed badaniem zmęczeniowym „numer materiału_0”), wartości po 100, 200, 300, 400 i 500 tys. cykli obciążenia „numer materiału_100/200/300/400/500” oraz wartości wyznaczone po okresie od jednego do dwóch tygodni po

zakończeniu testów zmęczeniowych „numer materiału_500_post”.

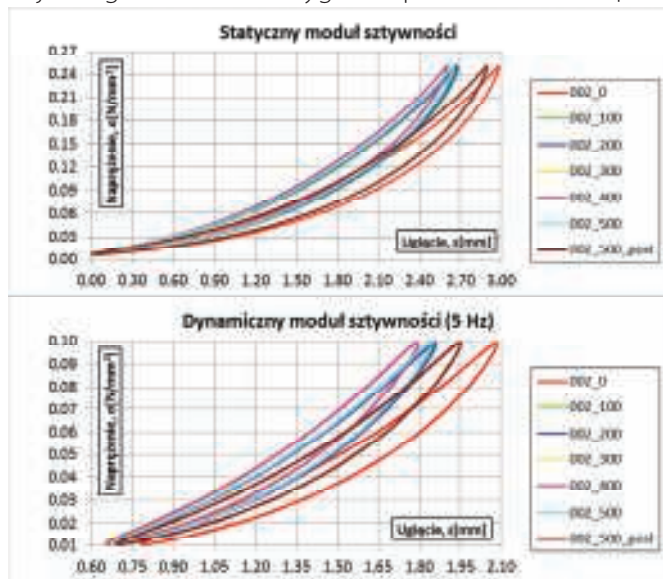
Na rysunkach 3-5, przedstawiono natomiast wykresy charakterystyk otrzymanych w testach statycznych i dynamicznych podkładek USP.

Analiza tych wyników wskazuje, że najkorzystniejsze właściwości z punktu widzenia trwałości zmęczeniowej wykazuje materiał nr 002. Zmiany sztywności są nieduże, a krzywe sztywności po okresie od jednego do dwóch tygodni po zakończeniu testów zmęczeniowych znajdują się blisko krzywych początkowych. Najgorsze właściwości ma próbka materiału nr 004, dla której zmiany sztywności przekraczają 30%, co znacznie przekracza przyjmowane

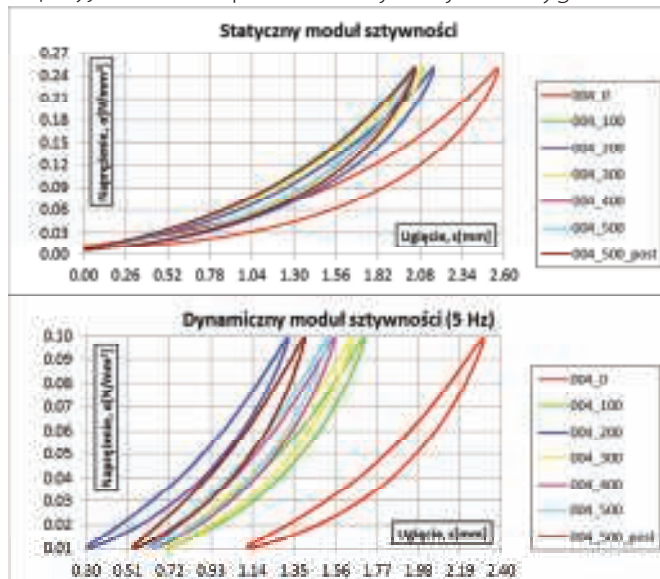
w literaturze dopuszczalne wartości dla wyrobów sprężystych stosowanych w nawierzchni kolejowej (wartość graniczna jest przyjmowana przezważnie jako 15-25% [2, 9, 10]).

Oporność na warunki atmosferyczne

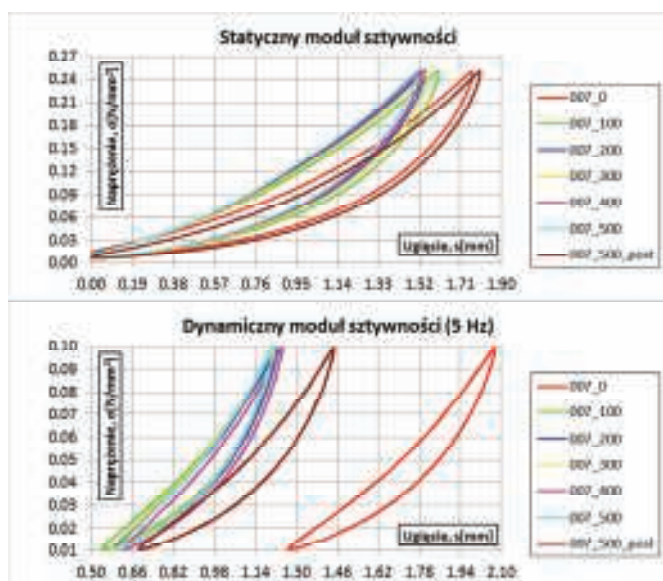
Ze względu na występowanie wód opadowych w podsypce i znaczą różnicę temperatur występującą w naszej strefie klimatycznej, badanie podkładek USP pod kątem ich oporności na działanie wody, mrozoodporności i wysokich temperatur jest jak najbardziej uzasadnione. Utrzymująca się przez co najmniej dwa tygodnie w



3. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 002 – badanie wytrzymałości zmęczeniowej



4. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 004 – badanie wytrzymałości zmęczeniowej



5. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 007 – badanie wytrzymałości zmęczeniowej



6. Próbka materiału nr 002: a) podkładka USP na kostce betonowej; b) próbka zanurzona w wodzie na 24 h



7. Próbki podkładek USP w trakcie badań odporności na warunki atmosferyczne: a) próbki w komorze klimatycznej; b) komora klimatyczna z badanymi próbkami

okresie zimowym temperatura poniżej -15°C i jej oscylowanie w okolicy 0°C nie jest w naszym kraju rzadkością. W badaniu odporności na warunki atmosferyczne, próbka podkładki USP przyklejona do betonowej kostki jest przechowywana w wodzie przez 24 h (rys. 6), a następnie cyklicznie zamrażana do temperatury -15°C w czasie 4 h, pozostawiona w tej temperaturze przez 8 h, po czym temperatura jest zwiększana do $+40^{\circ}\text{C}$ w czasie 4 h (przy wilgotności względnej 80%) i próbka pozostaje w niej przez 8 h (rys. 7). Jeden cykl trwa 24 h i należy przeprowadzić 7 pełnych cykli zamrażania-odmrażania.

W przypadku badań odporności na warunki atmosferyczne istotna jest zmiana (wyznaczana w okresie 1÷2 tygodni od zakończenia badania) statycznego i dynamicznego (dla 5 Hz) modułu sztywności podkładki USP, brak uszkodzeń podkładki oraz odpowiednio wysoka wartość przyczepności do betonu przez odrywanie.

Wyniki badań statycznych i dynamicznych modułów sztywności

przedstawiono w tabelach 4-6 oraz na wykresach (rys. 8-10), z uwzględnieniem wartości początkowych (przed badaniem odporności na warunki at-

mosferyczne – „numer materiału_pre”) oraz końcowych (po 1 – 2 tygodni od wyjęcia z komory klimatycznej – „numer materiału_post”). Najlepszą od-

Tab. 4. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 002 oraz ich zmiany – badanie odporności na warunki atmosferyczne

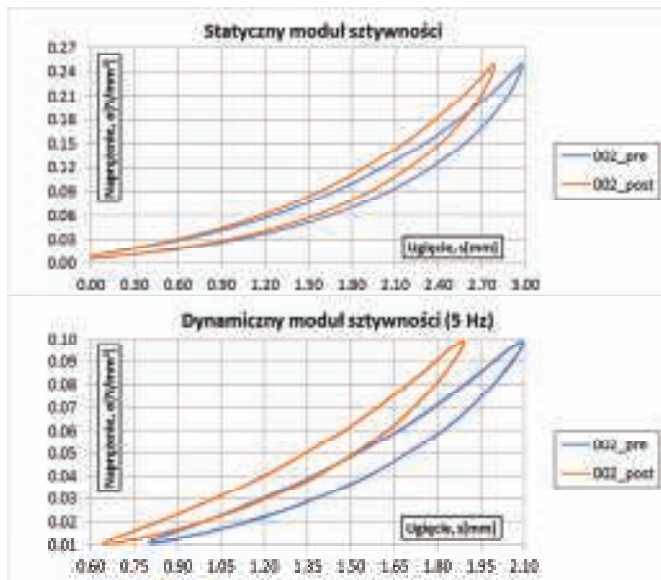
Parametr	Moduł sztywności [N/mm ²]		
	002_pre	002_post	$\Sigma\Delta$ [%]
C_{stat} (0,01-0,10 N/mm ²)	0,051	0,054	5,9
C_{tend} (0,01-0,20 N/mm ²)	0,071	0,076	7,0
C_{dyn05}	0,068	0,072	5,9

Tab. 5. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 004 oraz ich zmiany – badanie odporności na warunki atmosferyczne

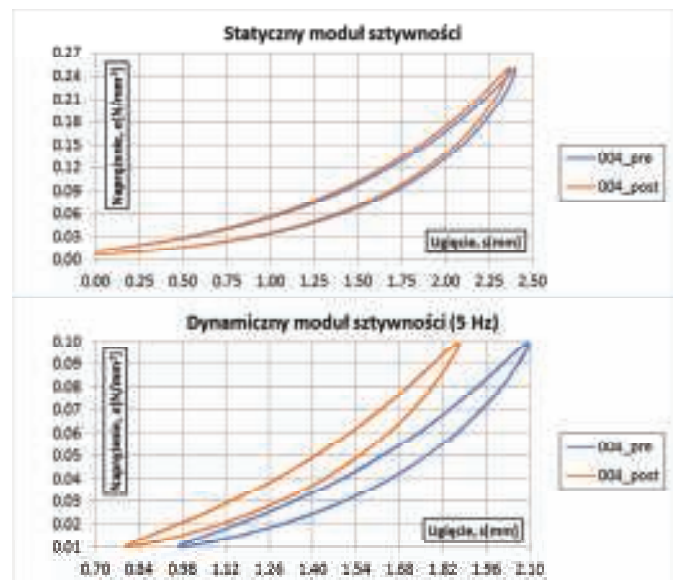
Parametr	Moduł sztywności [N/mm ²]		
	004_pre	004_post	$\Sigma\Delta$ [%]
C_{stat} (0,01-0,10 N/mm ²)	0,058	0,059	1,7
C_{tend} (0,01-0,20 N/mm ²)	0,086	0,088	2,3
C_{dyn05}	0,079	0,083	5,1

Tab. 6. Wartości statycznych i dynamicznych modułów sztywności dla próbki materiału nr 007 oraz ich zmiany – badanie odporności na warunki atmosferyczne

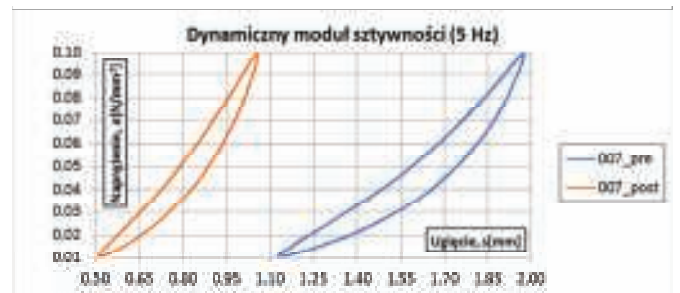
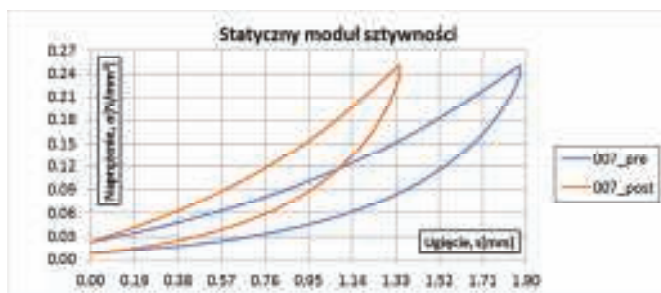
Parametr	Moduł sztywności [N/mm ²]		
	007_pre	007_post	$\Sigma\Delta$ [%]
C_{stat} (0,01-0,10 N/mm ²)	0,080	0,116	45,0
C_{tend} (0,01-0,20 N/mm ²)	0,105	0,149	41,9
C_{dyn05}	0,106	0,164	54,7



8. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 002 – badanie odporności na warunki atmosferyczne



9. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 004 – badanie odporności na warunki atmosferyczne



10. Statyczne i dynamiczne moduły sztywności dla próbki materiału nr 007 – badanie odporności na warunki atmosferyczne

porność na warunki atmosferyczne wykazuje materiał nr 004, najgorszą nr 007. Porównując wyniki obu badań można stwierdzić, że: materiał nr 002 charakteryzuje się dobrymi właściwościami zarówno pod względem wytrzymałości zmęczeniowej jak i odporności na warunki atmosferyczne; materiał nr 004, pomimo dobrej odporności na warunki atmosferyczne, powinien zostać odrzucony ze względu na nieakceptowalny wynik badania wytrzymałości zmęczeniowej; materiał nr 007 wykazuje dość dobrą trwałość (wytrzymałość zmęczeniową), jest jednak nieodporny na działanie warunków atmosferycznych.

Wnioski

- 1) Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały celowość zastosowania ograniczonego ilościowo ich zakresu do materiałowej preselekcji podkładek USP przeznaczonych do dalszych badań w pełnym zakresie ustalonym w normie PN-EN 16730 [8].
- 2) Dla każdego z materiałów wyznaczono trzy parametry: statyczny moduł sztywności dla zakresu obciążenia $(0,01 \div 0,1) \text{ N/mm}^2$, statyczny moduł sztywności dla zakresu obciążenia $(0,01 \div 0,2) \text{ N/mm}^2$ oraz dynamiczny moduł sztywności dla 5 Hz (wyznaczony metodą siłową) z ograniczeniem do 500 tys. cykli obciążeń w badaniu wytrzymałości zmęczeniowej.
- 3) W testach odporności na warunki atmosferyczne, przechowywane uprzednio w wodzie próbki podkładek podpodkładowych (USP) były poddane 7 naprzemiennym cyklom zamrażania-odmrażania (zmiana temperatury od $-15 \text{ }^\circ\text{C}$ do $+40 \text{ }^\circ\text{C}$).
- 4) Wyniki badań w zestawieniu z analizami modelowymi i analizą stanu wiedzy wykazały, że dla miarodajnej oceny przydatności podkładek UPS do spełniania ustalonych dla nich funkcji niezbędne są zarówno badania zmęczeniowe jak i testy odporności na warunki

atmosferyczne. Badane parametry wykazują bowiem różne relacje pomiędzy materiałem podkładek USP i cechami fizycznymi, które wpływają na ich właściwości tłumiące, co z kolei ma wpływ na ich skuteczność wibroizolacji w całym okresie eksploatacji.

- 5) Spośród trzech badanych materiałów podkładek podpodkładowych (USP) tylko jeden materiał wykazał oczekiwane właściwości w obu testach. Pozostałe dwa materiały nie będą podlegały dalszym badaniom, ponieważ albo nie mają wystarczającej trwałości albo nie są odporne na oddziaływania atmosferyczne i nie powinny być zastosowane jako izolatory wibroakustyczne. ◀

Publikacja powstała w ramach projektu „Innowacyjne rozwiązania w zakresie ochrony ludzi i budynków przed drganiem od ruchu kolejowego”. Projekt jest współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój oraz przez PKP PLK S.A. w ramach wspólnego przedsięwzięcia BRIK.



Materiały źródłowe

- [1] Abadi T., Le Pen L., Zervos A., Powrie W. Effect of Sleeper Interventions on Railway Track Performance. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2019, 145, 4, 04019009.
- [2] IRS 70713-1: Railway Application – Track & Structure “Under Sleeper Pads (USP) - Recommendations for Use”, 1st edition 01.04.2018.
- [3] Jayasuriya C., Indraratna B., Ngo T.N. Experimental study to examine the role of under sleeper pads for improved performance of ballast under cyclic loading. Transportation Geotechnics, 2019, 19, 61-73.
- [4] Kraśkiewicz C., Lipko C., Płudowska M., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Sta-

tic and Dynamic Characteristics of Resilient Mats for Vibration Isolation of Railway Tracks. Procedia Engineering, 2016, 153, 317-324.

- [5] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Płudowska-Zagrajek M., Piotrowski A. Testing procedures of the Under Sleeper Pads applied in the ballasted rail track systems. MATEC Web of Conferences, 2018, 196, 02046.
- [6] Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Zbiciak A.: Podkładowe w podsypkowej konstrukcji nawierzchni dróg szynowych – techniczne i formalne aspekty stosowania. Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej, 2017, 25, 221-243.
- [7] Omodaka A., Kumakura T., Konishi T. Maintenance reduction by the development of resilient sleepers for ballasted track with optimal under-sleeper pads. Procedia CIRP, 2017, 59, 53-56.
- [8] PN-EN 16730:2016-08 Kolejnictwo - Tor - Podkłady i podrozdzielacze betonowe z podkładkami podpodkładowymi, Polski Komitet Normalizacyjny, 2016.
- [9] RFI TCAR SF AR 03 007 C, Specifica tecnica di forniture: Tappetini sotto traversa (USP), 2017.
- [10] SNCF IG04013 Traverses et supports béton pour pose ballastée équipées de semelles résilientes en sous faces (ex CT IGEV 016) 14.08.2018.
- [11] Sol-Sánchez M., Moreno-Navarro F., Rubio-Gámez C. The use of elastic elements in railway tracks: A state of the art review. Construction and Building Materials, 2015, 75, 293-305.
- [12] Zbiciak A., Kraśkiewicz C., Oleksiewicz W., Płudowska-Zagrajek M., Lipko C. Mechanical modelling and application of vibroacoustic isolators in railway tracks. MATEC Web of Conferences, 2017, 117, 00090.