

Jarosław JANUSZ¹, Marcin SIDZINA²

BADANIA PORÓWNAWCZE WSPÓŁCZYNNIKA TŁUMIENIA MATERIAŁU PRZEKŁADKOWEGO

Streszczenie: W artykule przedstawiono porównawczą metodę badania współczynnika tłumienia nowoczesnego materiału przekładkowego stal-polimer-stal. W ramach prowadzonych badań wyznaczono częstotliwości drgań swobodnych próbek wykonanych z materiału przekładkowego oraz ze stali. Do pomiaru drgań badanych próbek wykorzystano system pomiarowy VibXpert II. Przeprowadzono również badania drgań wymuszonych na wzbudniku drgań. Uzyskane wyniki badań umożliwiły wyznaczenie dekrementu tłumienia próbek.

Słowa kluczowe: tłumienie drgań, drgania swobodne, dekrement tłumienia

TESTS OF THE DAMPING COEFFICIENT OF THE SPACER MATERIAL

Summary: The article presents a comparative method of testing the damping coefficient of a modern steel-polymer-steel sandwich material. As part of the research, the frequencies of free vibrations of samples made of sandwich material and steel were determined. The VibXpert II measuring system was used to measure the vibrations of the tested samples. The tests of forced vibrations on the vibration exciter were also carried out. The obtained test results made it possible to determine the attenuation decrement of the samples.

Keywords: damping vibration, free vibrations, damping decrement

1. Wprowadzenie

Tłumienie drgań jest to zdolność rozpraszania (pochłaniania) przez ciało części pracy sił zewnętrznych, która zmienia się w energię cieplną i ulega rozproszeniu. Zjawisko to zachodzi podczas drgań konstrukcji, czyli przy cyklicznie zmieniających się odkształceniach (naprężeniach) wywołanych działaniem sił zewnętrznych. Zjawisko tłumienia drgań jest bardzo złożone, co wiąże się z bardzo skomplikowanym opisem matematycznym zjawiska. Zjawisko tłumienia czyli rozpraszania energii drgań można podzielić na trzy rodzaje:

¹ Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, jjanusz@ath.bielsko.pl

² Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej, Wydział Budowy Maszyn i Informatyki, msidzina@ath.bielsko.pl

- tłumienie konstrukcyjne,
- tłumienie zewnętrzne,
- tłumienie materiałowe.

Wprowadzane nowoczesne materiały konstrukcyjne wykorzystywane w przemyśle samochodowym mają za zadanie przy zmniejszonej masie komponentów podwyższać parametry wytrzymałościowe konstrukcji i jednocześnie zwiększać komfort użytkownika pojazdu. Przykładem takiego materiału jest kompozyt stal-polimer-stal (Bondal®). Ma on przy zachowaniu własności wytrzymałościowych stali charakteryzować się własnościami tłumiącymi drgania mechaniczne.

W niniejszym opracowaniu zaproponowano ocenę tłumienia materiałowego na podstawie badań porównawczych drgań próbek wykonanych ze stali i materiału Bondal®. Prace realizowano w ramach prac badawczo-rozwojowych z firmą Polmotors Sp. z o.o.

Tłumienie materiałowe jest związane z budową wewnętrzną (strukturą) drgającego elementu i jest ono spowodowane między innymi [2]:

- rozproszeniem energii w metalach wywołanym dyfuzją,
- rozproszeniem energii uwarunkowanym lokalnymi odkształceniami plastycznymi mikroobjętości materiału, które powstają na skutek działania naprężeń wewnętrznych równoważących się na granicy sąsiednich ziaren;
- wewnętrznym rozproszeniem energii uwarunkowanym poślizgiem na granicy ziaren, (występuje głównie w czystych metalach,
- termosprężystym rozproszeniem energii spowodowanym nieodwracalnymi przepływami powstającymi pomiędzy różnymi objętościami ciała drgającego pod wpływem gradientu temperatur,
- sprężystolepkim rozproszeniem energii, które występuje w tworzywach sztucznych.

Generalnie tłumienie materiałowe jest większe w materiałach o złożonej budowie. Materiały konstrukcyjne (metale) a między innymi stal ze względu na swoją budowę mają małe tłumienie materiałowe w przeciwieństwie do innych np. beton, drewno czy kompozyty.

Badany materiał ma strukturę kompozytu, który zgodnie z założeniami powinien posiadać zwiększone tłumienie materiałowe.

W literaturze przedstawione są różne metody określające wartości parametrów tłumienia drgań [4],[3]. Są wśród nich metody teoretyczne (np. metody energetyczne) oraz metody określające tłumienie drgań na podstawie analizy wyników badań (np.: filtracyjno-regresyjna, kolokacyjna, na podstawie transmitancji odpowiedzi konstrukcji).

2. Podstawowe wielkości opisujące tłumienie drgań mechanicznych

W literaturze opisywane są różne miary tłumienia drgań. Najczęściej wykorzystuje się:

- logarytmiczny dekrement tłumienia δ (1),

$$\delta = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} \quad (1)$$

gdzie: $A(t)$, $A(t+T)$ to dwie kolejne amplitudy drgań tego samego znaku (rys.1).
W pracy wyznacza się średni logarytmiczny dekrement tłumienia z kolejnych ośmiu amplitud $\bar{\delta}$.

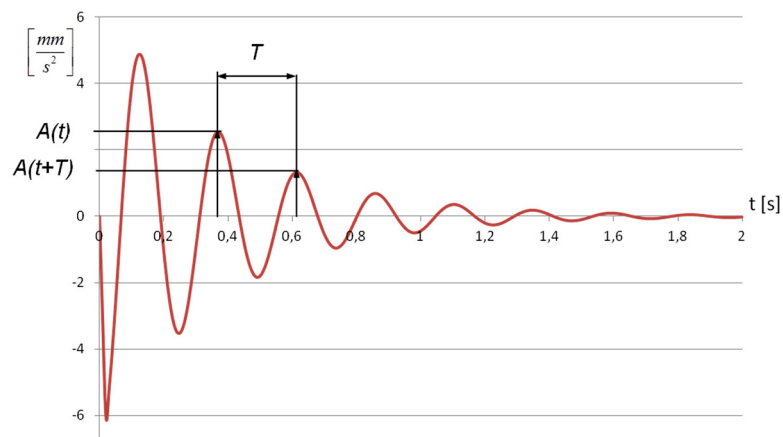
- współczynnik tłumienia drgań układu β (2)

$$\beta = \frac{\delta}{T} \quad (2)$$

- liczba tłumienia (stopień tłumienia drgań układu) ξ (3)

$$\xi = \frac{\delta}{\sqrt{4\pi^2 + \delta^2}} \quad (3)$$

Wielkości te wyznacza się na podstawie przebiegu przyspieszeń układu drgającego (rys.1).



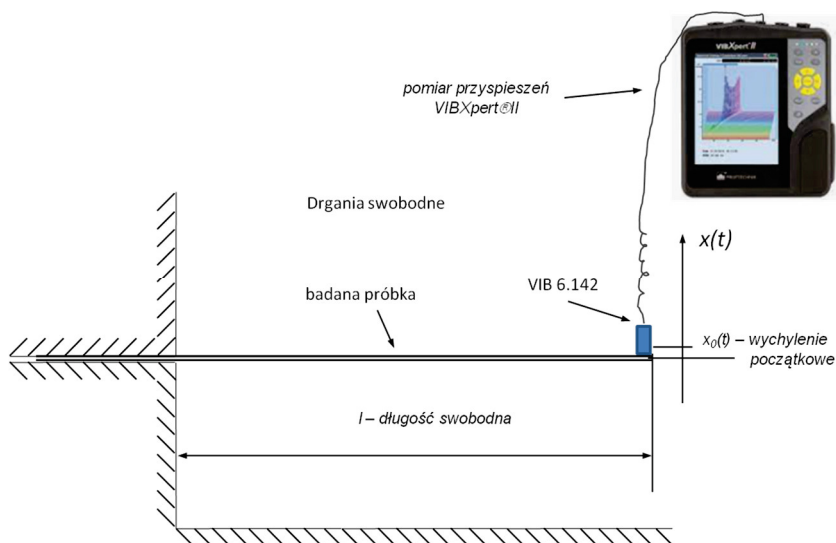
Rysunek 1. Przebieg przyspieszeń układu drgającego z tłumieniem

W celu określenia tłumienia zakłada się wyznaczenie wskaźnika określającego stosunek dekrementu tłumienia układu drgającego z materiału przekładkowego w odniesieniu do dekrementu z materiału jednorodnego (stal). Pozwoli to na wyeliminowanie wpływu na pomiar dekrementu tłumienia takich czynników jak tłumienie ośrodka, obciążenie pomiarem.

3. Pomiar przyspieszeń drgań swobodnych tłumionych

W celu przeprowadzenia pomiarów zbudowano stanowisko badawcze (rys. 2) umożliwiające pomiar przyspieszeń drgań swobodnych próbek wykonanych z materiału przekładkowego oraz ze stali. W pierwszym etapie przeprowadzono wstępne badania drgań swobodnych próbki jednostronnie utwierdzonej z materiału

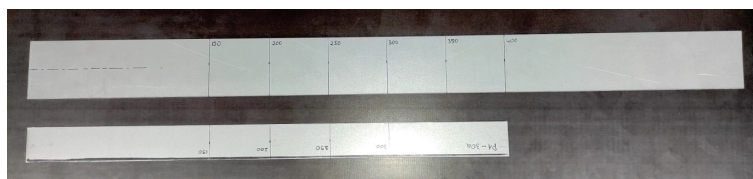
przekładkowego (Bondal®) o wymiarach (szer [mm]x dł [mm]) 30x150, 30x200, 30x200 (Rysunek). Rejestrowano po 3 przebiegi przyspieszeń końcówki próbki z wykorzystaniem systemu pomiarowego VIBXpert II wyposażony w czujnik przyspieszeń VIB 6.142 o zakresie pomiarowym 1Hz÷20kHz. Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych, ich analizie stwierdzono, że należy zwiększyć liczbę pomiarów z 3 do 10 a ponadto tak zmodyfikować stanowisko pomiarowe tak, aby ugięcie początkowe x_0 (warunki początkowe) było stałe dla każdej serii pomiarów przyspieszeń



Rysunek 2. Schemat stanowiska do pomiaru drgań swobodnych



Rysunek 3. Stanowisko pomiarowe. Unieruchomiony przewód z czujnika pomiarowego. Stanowisko wyposażone w suwak zwalniający układ drgający w takich samych warunkach początkowych.



Rysunek 4. Próbkę z materiału przekładkowego

W celu wyznaczenia dekrementu tłumienia układu drgań wykorzystano metodę szczytowych wartości (odczyt kolejnych ośmiu amplitud przyspieszeń $A(t)$, rys.1). Uzyskane wyniki zebrano w tabelach excell i wyznaczono dla każdego z pomiarów wartości dekrementu tłumienia, okresu drgań własnych układu i pierwszą częstość drgań własnych układu.

Badania przeprowadzono dla próbek identycznych wymiarowo wykonanych z materiału przekładkowego oraz stali (grubość 1,4 mm). Ze względu na aktywację pomiaru na urządzeniu pomiarowym więzy z układu drgającego zdejmowano dopiero po uruchomieniu pomiaru (początek pomiarów w różnych chwilach czasu).

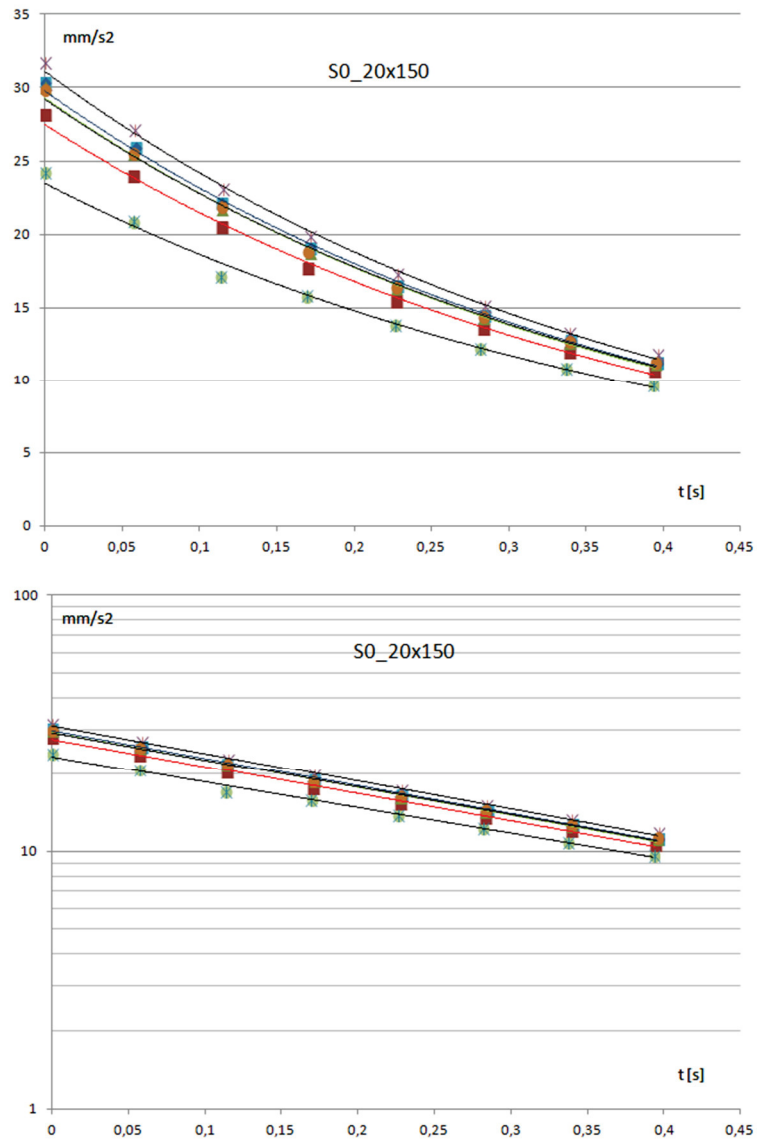
4. Badania porównawcze drgań swobodnych

Na podstawie pomiarów testowych przeprowadzono serię badań (pomiarów) przyspieszeń próbek stanowiących belkę utwierdzoną w trakcie drgań swobodnych. Badaniom poddano próbki o wymiarach przedstawionych w tab. 1.

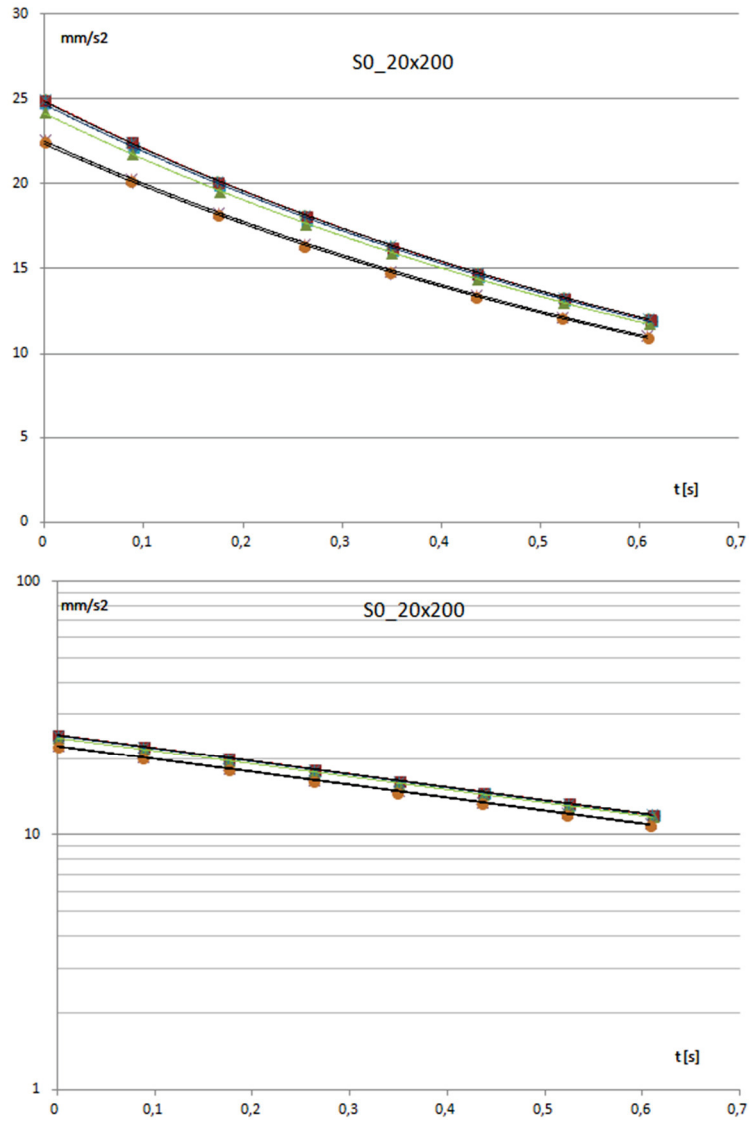
Tabela 1. Wymiary próbek

stal				Bondal®			
dł. [mm]				dł. [mm]			
		150	200	250	150	200	250
szer. [mm]	20	S0_20x150	S0_20x200	S0_20x250	P0_20x150	P0_20x200	P0_20x250
	30	S1_30x150	S1_30x200	S1_30x250	P1_30x150	P1_30x200	P1_30x250
	50	S2_50x150	S2_50x200	S2_50x250	P2_50x150	P2_50x200	P2_50x250

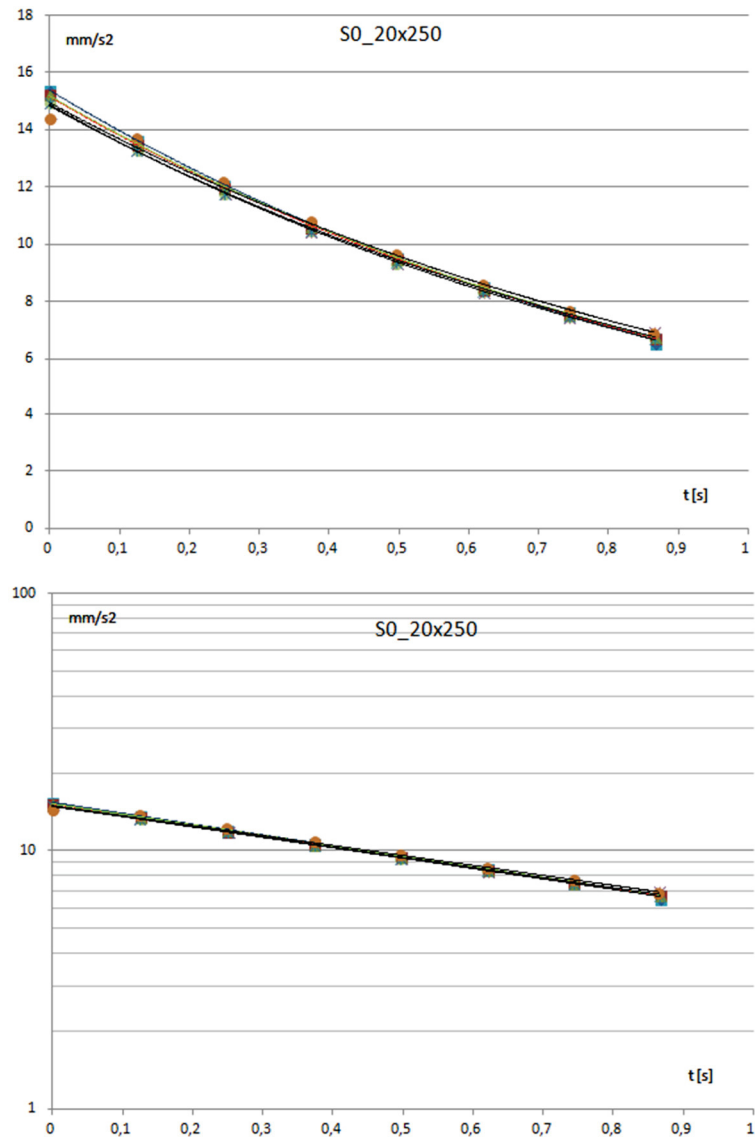
Wybrane wyniki pomiarów próbek stalowych o szerokości 20 mm przedstawiono na rys. 5 ÷ rys. 7, a na rys. 8 ÷ rys. 10 przedstawiono wartości szczytowe przyspieszeń próbek wykonanych z Bondalu®.



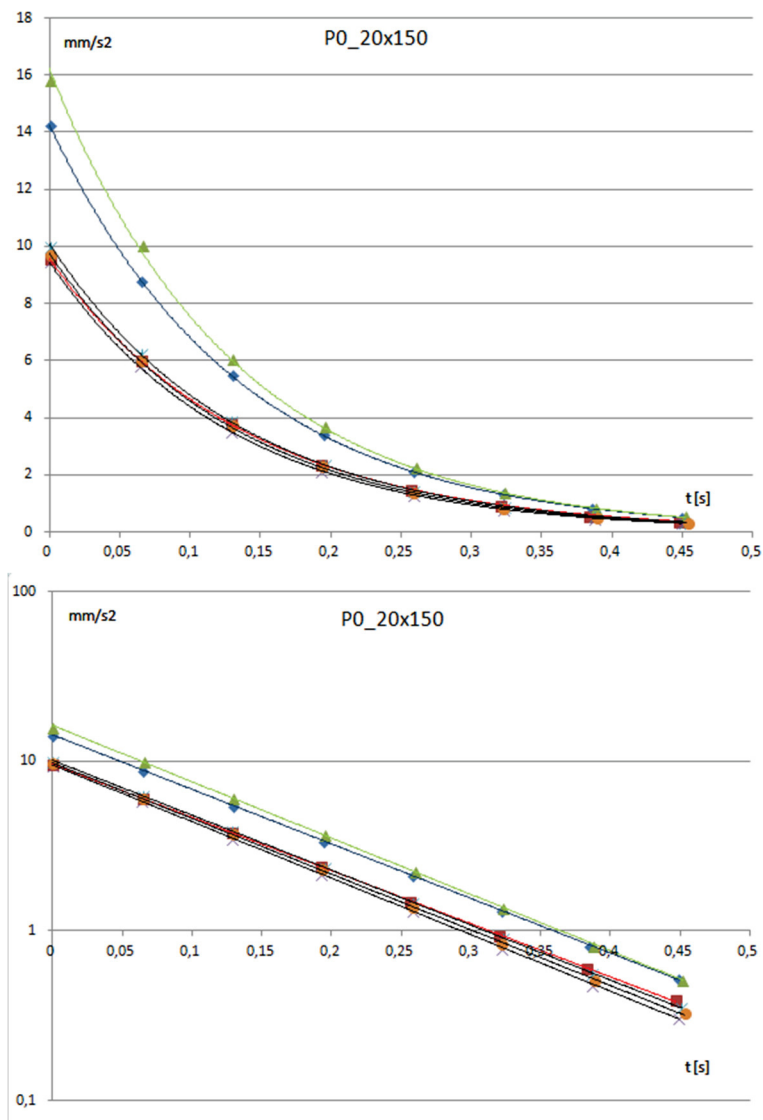
Rysunek 5. Wartości szczytowe przyspieszeń próbki stalowej SO_20x150



Rysunek 6. Wartości szczytowe przyspieszeń próbki stalowej SO_20x200

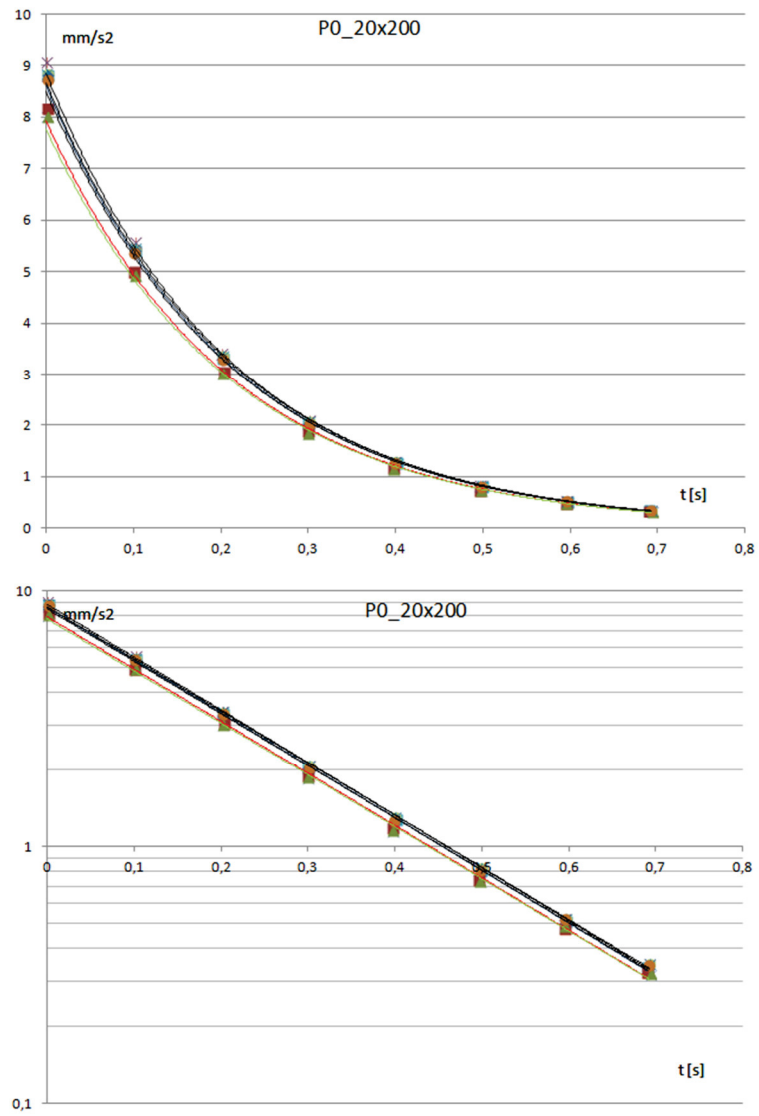


Rysunek 7. Wartości szczytowe przyspieszeń próbki stalowej S0_20x250

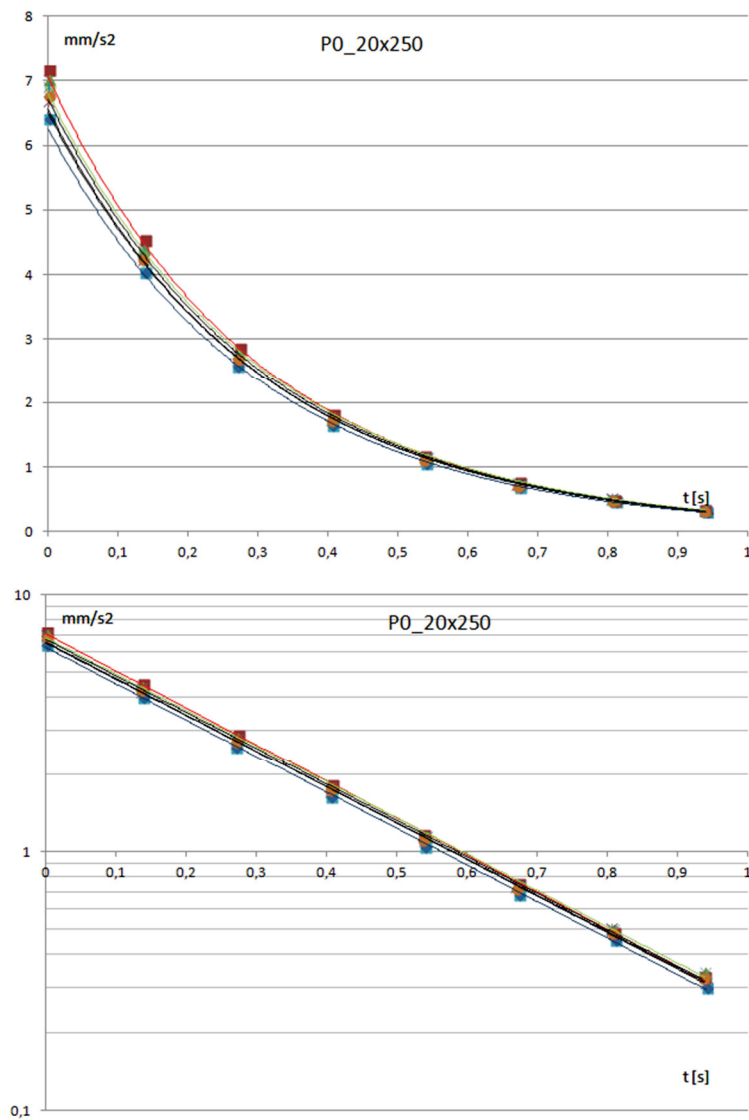


Rysunek 8. Wartości szczytowe przyspieszeń próbki z Bondalu PO_20x150

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono okresy drgań własnych, pierwsze częstotliwości drgań własnych, dekrementy tłumienia, współczynnik tłumienia oraz liczbę tłumienia, które przedstawiono w tab. 2 ÷ tab. 4. Wybrane wielkości zaprezentowano na rys. 12 ÷ rys. 14.

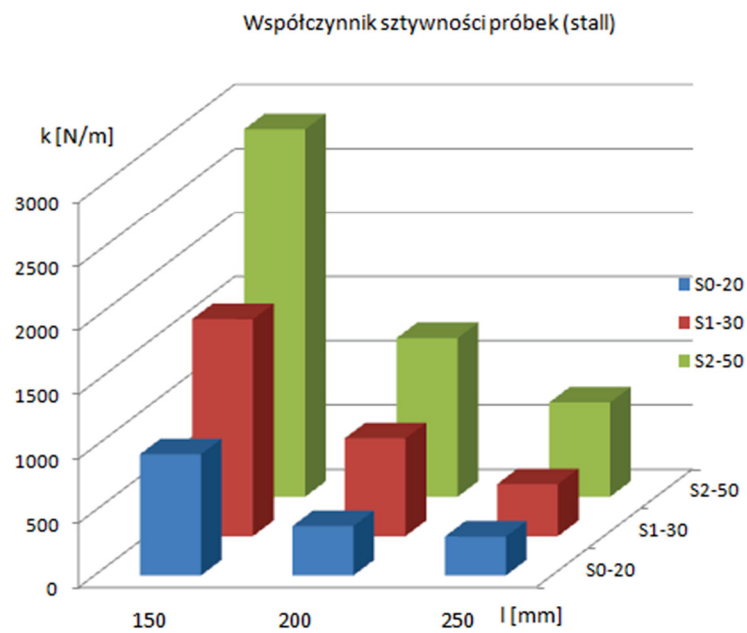
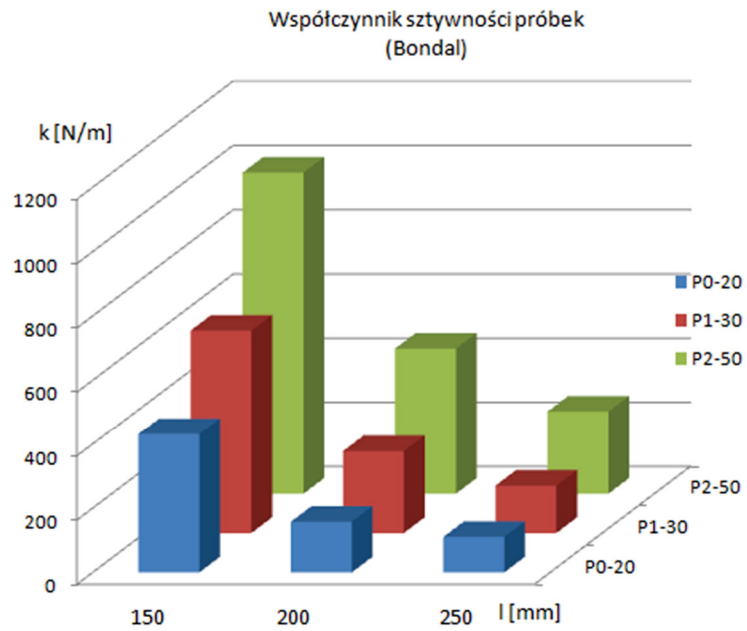


Rysunek 9. Wartości szczytowe przyspieszeń próbki z Bondalu PO_20x200



Rysunek 10. Wartości szczytowe przyspieszeń próbki wykonanej z Bondalu PO_20x250

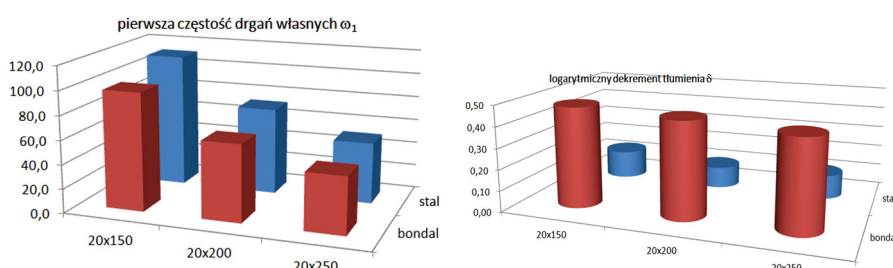
W ramach badań wyznaczono również sztywności badanych próbek, zaprezentowano je na rys. 11.



Rysunek 11. Wyznaczone współczynniki sztywności

Tabela. 2. Średnie wartości wyznaczonych parametrów drgań próbki o szer. 20 mm

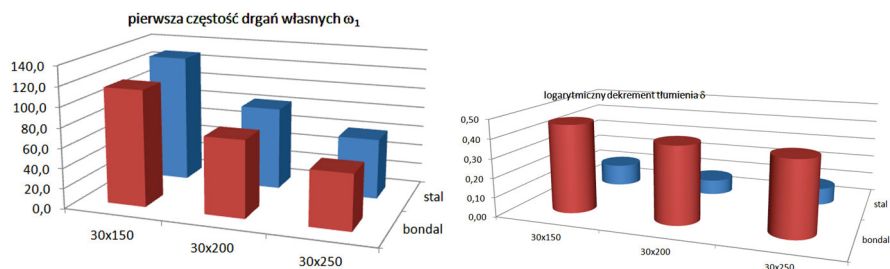
Parametr	Stal			Bondal		
	S0_20x150	S0_20x200	S0_20x250	P0_20x150	P0_20x200	P0_20x250
$T[s]$	0,056	0,087	0,124	0,064	0,098	0,134
$F[Hz]$	17,778	11,494	8,092	15,578	10,158	7,483
$\omega\left[\frac{rad}{s}\right]$	111,664	72,196	50,825	97,847	63,803	47,000
δ_{sr}	0,136	0,102	0,115	0,479	0,458	0,432
$\beta\left[\frac{1}{s}\right]$	2,421	1,177	0,930	7,464	4,654	3,230
ξ	0,022	0,016	0,018	0,076	0,073	0,069
$k\left[\frac{N}{m}\right]$	943,6	385	303,5	431,7	157,7	110,4



Rysunek.12. Wyznaczone pierwsze średnie częstości drgań własnych oraz średnie logarymiczne dekrementy tłumienia próbek o szerokości 20 mm

Tabela. 3. Średnie wartości wyznaczonych parametrów drgań próbki o szer. 30 mm

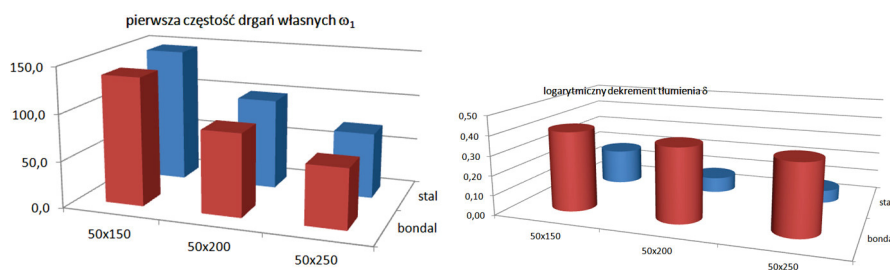
Parametr	Stal			Bondal		
	S1_30x150	S1_30x200	S1_30x250	P1_30x150	P1_30x200	P1_30x250
$T[s]$	0,049	0,076	0,105	0,054	0,082	0,115
$F[Hz]$	20,443	13,172	9,562	18,396	12,150	8,725
$\omega\left[\frac{rad}{s}\right]$	128,405	82,736	60,058	115,544	76,314	54,803
δ_{sr}	0,114	0,078	0,087	0,462	0,400	0,383
$\beta\left[\frac{1}{s}\right]$	2,340	1,033	0,828	8,496	4,859	3,342
ξ	0,018	0,012	0,014	0,073	0,064	0,061
$k\left[\frac{N}{m}\right]$	1687,7	760,9	404,7	632,2	255,2	147,6



Rysunek 13. Wyznaczone pierwsze średnie częstości drgań własnych oraz średnie logarytmiczne dekrementy tłumienia próbek o szerokości 30 mm

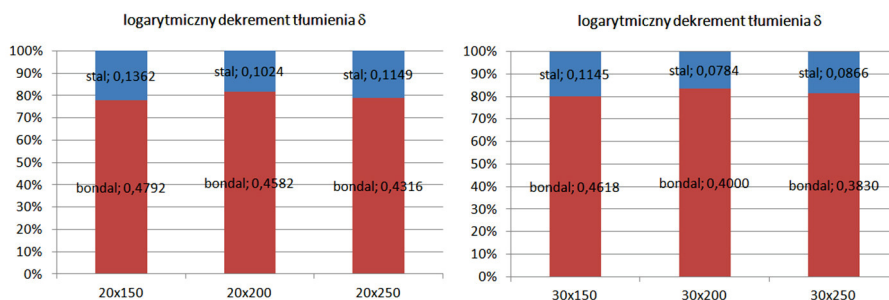
Tabela. 4. Średnie wartości wyznaczonych parametrów drgań próbki o szer. 50 mm

Parametr	Stal			Bondal		
	S2_50x150	S2_50x200	S2_50x250	P2_50x150	P2_50x200	P2_50x250
$T [s]$	0,043	0,064	0,089	0,046	0,071	0,098
$F [Hz]$	23,241	15,666	11,264	21,912	14,123	10,164
$\omega \left[\frac{rad}{s} \right]$	145,979	98,398	70,750	137,628	88,709	63,839
δ_{sr}	0,183	0,078	0,064	0,408	0,377	0,357
$\beta \left[\frac{1}{s} \right]$	4,242	1,229	0,725	8,934	5,320	3,625
ξ	0,029	0,012	0,010	0,065	0,060	0,057
$k \left[\frac{N}{m} \right]$	2864,7	1234,6	733,0	1000,9	453,8	257,5



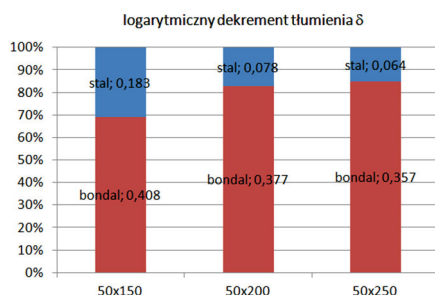
Rysunek 14. Wyznaczone pierwsze średnie częstości drgań własnych oraz średnie logarytmiczne dekrementy tłumienia próbek o szerokości 50 mm

Wyznaczone wartości logarytmicznego dekrementu tłumienia próbek wykonanych ze stali i Bondalu zaprezentowano na rys. 15. - rys. 17.



Rysunek 15. Wartości średniego logarytmicznego dekrementu tłumienia próbki o szer. 20 mm na wykresie skumulowanym

Rysunek 16. Wartości średniego logarytmicznego dekrementu tłumienia próbki o szer. 30 mm na wykresie skumulowanym

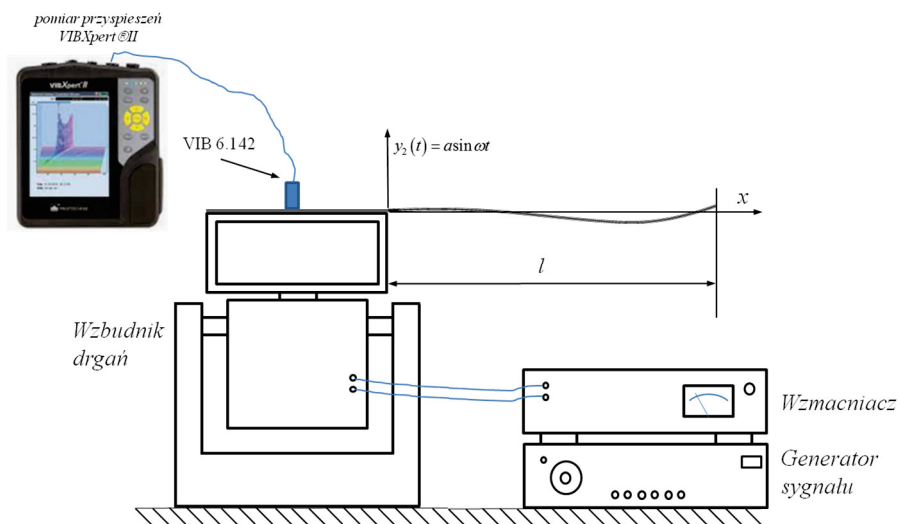


Rysunek 17. Wartości średniego logarytmicznego dekrementu tłumienia próbki o szer. 50 mm na wykresie skumulowanym

5. Badania porównawcze drgań wymuszonych

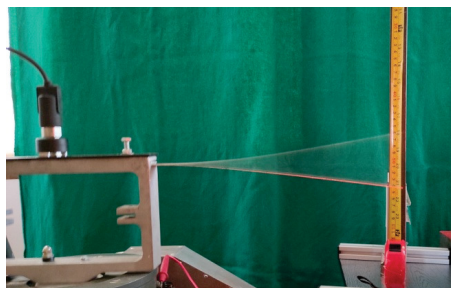
W celu potwierdzenia większego tłumienia próbek wykonanych z Bondalu w stosunku do próbek wykonanych ze stali przeprowadzono badania drgań wymuszonych.

Na stanowisku przedstawionym na schemacie (rys. 18) przeprowadzono badania wymuszonych drgań giętnych próbek o szerokości 20 mm.



Rysunek 18. Schemat stanowiska do badań drgań wymuszonych

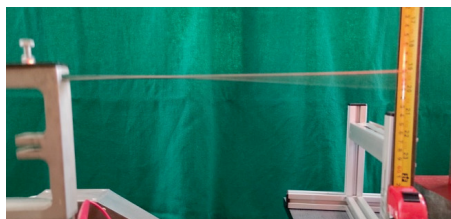
Rysunki 19, 20 przedstawiają zdjęcia pierwszej a rys. 21, 22 drugiej postaci drgań badanych próbek. Doświadczalnie wyznaczono pierwsze 3 częstotliwości drgań własnych próbek o szerokości 20 mm i długości $l=300$ mm wykonanych ze stali oraz Bondalu. Wyznaczone wartości trzech pierwszych częstotliwości drgań przedstawiono na rys. 23.



Rysunek 19. Pierwsza postać drgań - stal



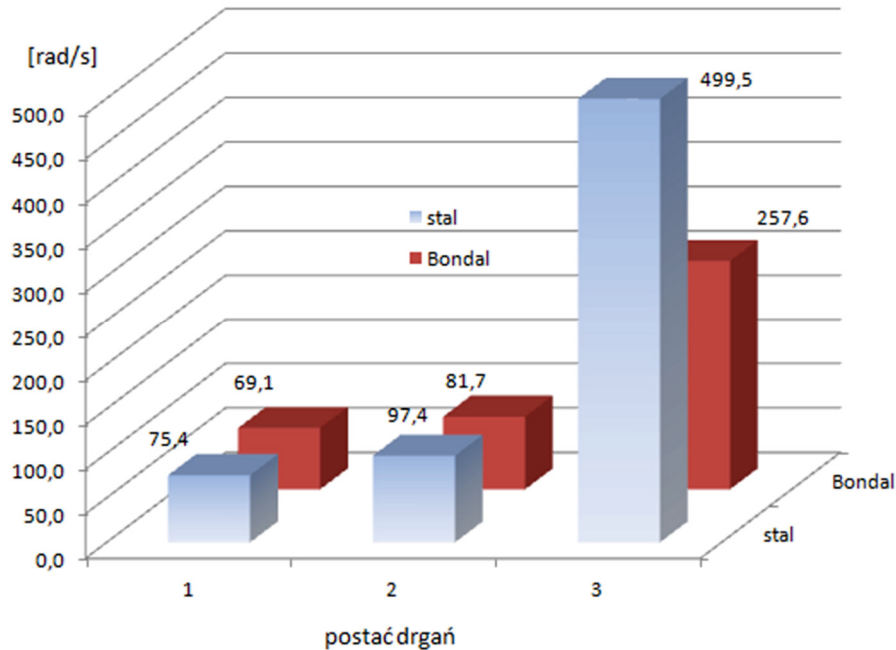
Rysunek 20. Pierwsza postać drgań - Bondal



Rysunek 21. Druga postać drgań - stal



Rysunek 22. Druga postać drgań - Bondal



Rysunek 23. Doświadczalnie wyznaczone wartości pierwszych częstości drgań

6. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań wyznaczono parametry drgań swobodnych określające tłumienie występujące w układach drgań swobodnych belki jednostronnie utwierdzonej. Uzyskane parametry wskazują na około czterokrotnie (rys.15÷rys.17) większe tłumienie w układzie z próbką wykonaną z Bondalu od tłumienia w układzie z próbką ze stali. Zaobserwowane różnice w kolejnych częstościach drgań własnych stali i Bondalu potwierdzają wysoką skuteczność tłumienia drgań Bondalu. Jednocześnie wraz z kolejną postacią drgań skuteczność tłumienia wzrasta (zmniejszanie się amplitud drgań Bondalu w stosunku do stali) zatem skuteczność tłumienia drgań wzrasta ze wzrostem częstości, rys. 23).

LITERATURA

1. OSIŃSKI Z.: Teoria Drgań, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1980.
2. SZALEJ. J.: Wyznaczenie ekwiwalentnego wiskotycznego tłumienia drgań w konstrukcjach wielomateriałowych. Politechnika Lubelska 2010.
3. BACHMANN H. i inni: Vibration prob. in structures. Practlcal Guidelines. Wien, Bulletin D'Information, No 209, Lausanne, 1991.
4. FLAGA A., SZULEJ J.: Metoda kolokacyjna wyznaczania parametrów tłumienia drgań w konstrukcjach budowlanych , Konferencja naukowa Dynkon 2008, Rzeszów-Bystre, wrzesień 2008, 65-72.