

dr inż. Izabela Adamczyk^{1*)}

ORCID: 0000-0002-2880-4065

dr inż. Jarosław Kalinowski¹⁾

ORCID: 0000-0001-8922-4788

dr hab. inż. Maciej Major, prof. PCz¹⁾

ORCID: 0000-0001-5114-7932

Ocena efektywności tłumienia drgań przez recyklingową mieszankę kompozytową

Assessment of the vibrations damping efficiency by a recycled composite mixture

DOI: 10.15199/33.2022.12.35

Streszczenie. W artykule przedstawiono metodę projektowania i wyniki doświadczalne składu recyklingowej mieszanki kompozytowej pod względem efektywności tłumienia drgań. Mieszanka kompozytowa pozwoliła na zagospodarowanie materiałów pochodzących z recyklingu: granulatu gumowego SBR oraz politereftalanu etylenu w postaci płatków PET. Przeprowadzone badania wykazały skuteczność opracowanego rozwiązania w zakresie badanych przykładowych częstotliwości drgań.

Słowa kluczowe: granulaty gumowy SBR; płatki PET; efektywność tłumienia; redukcja drgań.

Abstract. The article presents the design methodology and experimental results of the composition of the recycling composite mixture in terms of the effectiveness of vibration damping. The composite mixture allowed for the management of recycled materials: SBR rubber granulate and polyethylene terephthalate in the form of PET flakes. The conducted tests showed the effectiveness of the developer solution in the scope of the tested sample vibration frequencies.

Keywords: SBR rubber granulate; PET flakes; damping efficiency; vibration reduction.

Rozwój cywilizacji niesie za sobą wzrost konsumpcji i w efekcie zwiększa się ilość powstających różnego rodzaju odpadów, które nie muszą być materiałem niepożądanym i mogą być wykorzystane jako surowiec przydatny do produkcji innych pełnowartościowych materiałów [1]. Możliwe jest więc wykorzystanie odpadu jako taniego lub wręcz darmowego składnika przeznaczonego do dalszego przetwarzania [2÷5]. A. Smejda-Krzewicka i inni przedstawili sposoby recyklingu zużytych opon samochodowych, polegające na przetworzeniu ich na składniki o wartości użytkowej, a następnie wykorzystaniu w różnych dziedzinach. Przykładem jest zastosowanie pozyskanego miazgi gumowej do produkcji np. dywaników samochodowych, wycieraczek, mat i wykładzin podłogowych, pokryć dachowych czy do modyfikacji lepiszcza asfaltowego. N.F. Medina i inni zaprezentowali przegląd badań i rozważań literaturowych na temat pozyskanych pełnowartościowych składników ze zużytych opon samochodowych. Opisali właściwości

tłumiące gumy, która przyczynia się do zwiększenia pochłaniania dźwięku przez betony z dodatkiem granulatu gumowych o różnych frakcjach. Taki beton jest stosowany np. w panelach betonowych tłumiących hałas przy autostradach.

Zagospodarowywanie odpadów opakowań spożywczych z politereftalanu etylenu oraz gumy z opon samochodowych ma istotny wpływ na ochronę środowiska naturalnego, zarówno w skali gospodarki europejskiej, jak również światowej [6]. A.C. Corredor-Bedoya i inni badali kompozyty cementowe zawierające 25% granulatu gumowego i stwierdzili, że w przypadku częstotliwości 600 do 2400 Hz wykazują większe wartości pochłaniania dźwięku w porównaniu z kompozytem cementowym bez dodatku granulatu gumowego.

Minimalizacja wytwarzania odpadów oraz wykorzystywanie ich w sposób najbardziej efektywny wynika z uregulowań prawnych. Ustawa „O odpadach” wprowadza pięciostopniową hierarchię sposobów postępowania z odpadami. Obejmuje ona: zapobieganie powstawaniu odpadów; przygotowanie ich do ponownego użycia; recykling odpadów i inne procesy odzysku oraz unieszkodliwienie [1].

Jednym z odpadów jest guma SBR, którą pozyskuje się ze zużytych opon samochodowych. Po przerobieniu występuje ona w postaci: pyłu; miazgi; granulatu; ściery; chipsów i strzępów. Pył, miazga czy granulaty gumowe stosuje się najczęściej jako zamiennik kruszywa w betonach modyfikowanych. Jest on również używany do produkcji asfaltu, mat oraz węży gumowych. Strzępy, chipsy i granulaty gumowe są wykorzystywane do wykonania drenaży, nawierzchni boisk, chodników, elastycznych kostek brukowych oraz podkładów amortyzujących uderzenia. Pocięte i sprasowane zużyte opony znajdują zastosowanie również w budowie nasypów. Kolejny odpad to politereftalan etylenu w postaci kolorowych płatków PET pozyskany ze zużytych opakowań spożywczych. Jest to polimer termoplastyczny, najczęściej stosowany do produkcji opakowań spożywczych, ale również do produkcji folii pokrywowych, tkanin obiciowych czy namiotowych. Brak dbałości o zagospodarowanie odpadów jednoznacznie przekłada się na ich nadmierne zaleganie na składowiskach czy wysypiskach śmieci. Skuteczną odpowiedzią na ten ważny problem ekologiczny w skali całego świata jest zagospodarowanie odpadów w możliwie

¹⁾ Politechnika Częstochowska, Wydział Budownictwa

^{*)} Adres do korespondencji: izabela.adamczyk@pocz.pl

największej ilości. Opracowana recyklingowa mieszanka kompozytowa bazująca na granulacie gumowym SBR oraz politereftalanie etylenu w postaci płatków PET pozwala na efektywne ich zagospodarowanie.

W artykule przedstawiono badania efektywności tłumienia oddziaływań mechanicznych przez próbki wykonane z opracowanej mieszanki kompozytowej i wykazano, że jest ona skuteczna w redukcji oddziaływań mechanicznych w zakresie częstotliwości drgań odpowiednio 1000, 1500, 2000 i 2500 Hz.

Recyklingowa mieszanka kompozytowa

Recyklingowa mieszanka kompozytowa została opracowana wg autorskiego zgłoszenia patentowego P.Cz. 427423 [7]. Wykorzystano granulatu gumowy SBR, pozyskany ze zużytych opon samochodowych o frakcjach: 0÷1 mm, 0,8÷2 mm, 2÷4 mm oraz politereftalan etylenu w postaci kolorowych płatków PET. Charakteryzował się on gęstością 350÷700 kg/m³, a punkt i temperatura zapłonu były większe od 350°C [8]. Podstawowe właściwości politereftalanu etylenu to bardzo duża odporność chemiczna, duża: stabilność kształtu, trwałość, sztywność, odporność na czynniki atmosferyczne, wytrzymałość mechaniczna i odporność na temperaturę [9]. Przetworzony występuje w postaci płatków i granulatu PET [10, 11]. Składniki recyklingowe połączono spoiwem – żywicą poliestrową, która jest tworzywem syntetycznym, odpornym na wodę, rozciąganie i ściskanie [12], a powstaje w procesie poliestryfikacji m.in. kwasów i glikoli. Zastosowano ją razem z utwardzaczem.

Projekt składu recyklingowej mieszanki kompozytowej zakładał uzyskanie kompozytu o maksymalnej szczelności, która była definiowana minimalną jamistością stosu okruszowego zastosowanych składników w postaci różnych proporcji frakcji granulatu gumowego SBR i płatków PET. Proporcje zmieszania poszczególnych składników:

1) jednakowa ilość płatków PET w każdej serii 1, 2, 3;

2) maksymalna zawartość granulatu gumowego w ilości 50÷60%. W serii 1 zastosowano granulatu o frakcji 0÷1 mm, w serii 2 – granulatu o frakcji 0,8÷2 mm, a w serii 3 – granulatu o frakcji 2÷4 mm. Wykonano po siedem oznaczeń dla każdej serii. Wyniki badań jamistości w stanie zagęszczonym zestawiono w tabelach 1, 2, 3.

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy średniej wartości jamistości mieszanek kompozytowych, o maksymalnej ilości granulatu gumowego SBR o frakcji 0÷1 mm stwierdzono, że największą szczelność $j_z = 11,314\%$ uzyskała mieszanka serii 1/4, przy jednoczesnej najmniejszej objętości $V = 267,4 \text{ cm}^3$, co świadczy o maksymalnej jej szczelności. W dalszych badaniach nazwano ją **serią 1**.

W przypadku mieszanek kompozytowych, o maksymalnej ilości granulatu gumowego SBR o frakcji 0,8÷2 mm stwierdzono, że największą szczelność wykazała seria 2/7. Minimalna wartość jamistości wyniosła $j_z = 12,774\%$, przy jednoczesnej najmniejszej objętości $V = 272,2 \text{ cm}^3$. Jest to maksymalna szczelność mieszanki kompozytowej, którą w dalszych badaniach nazwano **serią 2**.

Największą szczelność wśród mieszanek kompozytowych, o maksymalnej ilości granulatu gumowego SBR o frakcji 2÷4 mm stwierdzono w przypadku serii 3/1. Jamistość osiągnęła $j_z = 13,686\%$, przy jednoczesnej najmniejszej objętości $V = 274,6 \text{ cm}^3$. W ten sposób uzyskano skład mieszanki kompozytowej, którą do dalszych badań nazwano **serią 3**.

Tabela 1. Średnie wartości jamistości w stanie zagęszczonym w przypadku serii z największą ilością granulatu gumowego SBR o frakcji 0÷1 mm
Table 1. Average values of cavity in the compacted state for a series with the use of the largest amount of SBR rubber granules with a fraction of 0÷1 mm

Nr serii	Granulat SBR [g]			Kolorowe płatki PET [g]	Całkowita masa próbki [g]	Objętość próbki V [cm ³]	Gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym ρ_{bz} [g/cm ³]	Jamistość w stanie zagęszczonym j_z [%]
	0÷1 [mm]	0,8÷2 [mm]	2÷4 [mm]					
1/1	60	10	40	20	130	268,1	0,485	11,496
1/2	60	20	30	20		274,6	0,473	13,696
1/3	60	30	20	20		269,1	0,483	11,861
1/4	60	40	10	20		267,4	0,486	11,314
1/5	50	20	40	20		277,0	0,469	14,416
1/6	50	30	30	20		279,4	0,465	15,146
1/7	50	40	20	20		272,2	0,478	12,774

Tabela 2. Średnie wartości jamistości w stanie zagęszczonym w przypadku serii z największą ilością granulatu gumowego SBR o frakcji 0,8÷2 mm
Table 2. Average values of cavity in the compacted state for a series with the use of the largest amount of SBR rubber granules with a fraction of 0,8÷2 mm

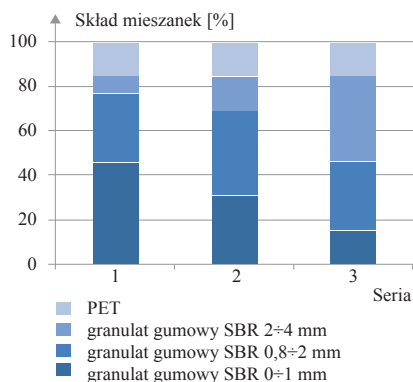
Nr serii	Granulat SBR [g]			Kolorowe płatki PET [g]	Całkowita masa próbki [g]	Objętość próbki V [cm ³]	Gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym ρ_{bz} [g/cm ³]	Jamistość w stanie zagęszczonym j_z [%]
	0÷1 [mm]	0,8÷2 [mm]	2÷4 [mm]					
2/1	10	60	40	20	130	281,8	0,461	15,876
2/2	20	60	30	20		277,0	0,469	14,416
2/3	30	60	20	20		277,0	0,469	14,416
2/4	40	60	10	20		277,0	0,469	14,416
2/5	20	50	40	20		281,8	0,461	15,876
2/6	30	50	30	20		279,4	0,465	15,146
2/7	40	50	20	20		272,2	0,478	12,774

Tabela 3. Średnie wartości jamistości w stanie zagęszczonym w przypadku serii z największą ilością granulatu gumowego SBR o frakcji 2÷4 mm

Table 3. Average values of cavity in the compacted state for a series with the use of the largest amount of SBR rubber granules with a fraction of 2÷4 mm

Nr serii	Granulat SBR [g]			Kolorowe płatki PET [g]	Całkowita masa próbki [g]	Objętość próbki V [cm ³]	Gęstość nasypowa w stanie zagęszczonym ρ_{bz} [/cm ³]	Jamistość w stanie zagęszczonym j_z [%]
	0÷1 [mm]	0,8÷2 [mm]	2÷4 [mm]					
3/1	20	40	50	20	130	274,6	0,473	13,686
3/2	30	30	50	20		279,4	0,465	15,146
3/3	40	20	50	20		281,8	0,461	15,876
3/4	10	40	60	20		281,8	0,461	15,876
3/5	20	30	60	20		277,0	0,469	14,416
3/6	30	20	60	20		281,8	0,461	15,876
3/7	40	10	60	20		286,6	0,454	17,153

Na rysunku 1 zestawiono wybrany procentowy skład recyklingowych mieszanek kompozytowych **serii 1, 2, 3**, a w tabeli 4 skład procentowy recyklingowych mieszanek kompozytowych serii 1, 2, 3 charakteryzujących się minimalnymi średnimi wartościami jamistości w stanie zagęszczonym. Określono



Rys. 1. Skład procentowy opracowanych recyklingowych mieszanek kompozytowych serii 1÷3, przyjęty do dalszych badań
Fig 1. Percentage compositions of the developed recycling composite blends series 1÷3, adopted for further research

Tabela 4. Skład opracowanych recyklingowych mieszanek kompozytowych serii 1÷3, przyjęty do dalszych badań

Table 4. Compositions of the developed 1÷3 recycling composite mixtures, accepted for further research

Seria mieszanki kompozytowej	Jednostka	Granulat gumowy SBR 0÷1 mm	Granulat gumowy SBR 0,8÷2 mm	Granulat gumowy SBR 2÷4 mm	Kolorowe płatki PET	Suma
1	[g]	60	40	10	20	130
	[%]	46,15	30,78	7,69	15,38	100
2	[g]	40	50	20	20	130
	[%]	30,78	38,46	15,38	15,38	100
3	[g]	20	40	50	20	130
	[%]	15,38	30,78	38,46	15,38	100

no procentowe składy recyklingowych mieszanek kompozytowych charakteryzujących się minimalnymi średnimi wartościami jamistości w stanie zagęszczonym, które wynoszą odpowiednio: seria 1 – 46,15%, seria 2 – 38,46%, seria 3 – 38,46%. Następnie poddano je badaniu efektywności tłumienia w następstwie propagującej przez próbkę recyklingowej mieszanki kompozytowej fali mechanicznej.

Przygotowanie próbek i stanowisko badawcze

Z mieszanek kompozytowych serii 1, 2, 3 wykonano próbki w kształcie walca o średnicy 100 mm i wysokości 10, 15, 20 mm. Kształt próbek przyjęto ze względów praktycznych wynikających z technologii ich wykonania, natomiast średnicę z uwzględnieniem uziarnienia granulatu gumowego SBR i płatków PET. Pozwolił na bardziej równomierne przekazanie obciążeń i wpłynął na dokładność uzyskanych wyników badań (rysunek 2).

Analizowano próbki o różnej wysokości 10, 15, 20 mm w celu sprawdzenia, czy efektywność tłumienia będzie proporcjonalna do ich wysokości, przy różnym składzie ilościowym poszczególnych składników badanego kompozytu tłumiącego. Próbki o wysokości poniżej 10 mm nie wykazały sztywności strukturalnej i nie były brane pod uwagę. W celu przekazania siły skupionej ze wzbudnika na próbkę zastosowano obustronne nakładki ze stali S355, które przyklejono na podstawach walca. Ich grubość wynosiła 5 mm, masa 350±0,5 g, a średnica odpowiadała średnicy próbek.

Efektywność tłumienia propagującej fali mechanicznej przez recyklingową mieszankę kompozytową serii 1, 2, 3 oceniono na specjalnie zbudowanym stanowisku badawczym (rysunek 3, fotografia). Przygotowaną próbkę z recyklingowej mieszanki kompozytowej poddano badaniu propagacji fali wywołanej przez wzbudnik w przypadku częstotliwości: 1000, 1500, 2000, 2500 Hz. Celem badań było określenie takiego składu recyklingowej mieszanki kompozytowej, którą cechowałaby duża sztywność strukturalna i efektywność redukcji oddziaływań mechanicznych. Przyjęto maksymalną siłę na wejściu i wyjściu sygnału, oceniając w ten sposób efektywność tłumienia przez określenie tłumienia względnego. Przykładowy rozkład sygnału w przypadku próbki mieszanki kompozytowej serii 1 o wysokości 20 mm i częstotliwości oddziaływania 1000 Hz przedstawiono na rysunku 4.

Na podstawie odczytanych z wykresów wyników określono tłumienie względne wg wzoru.

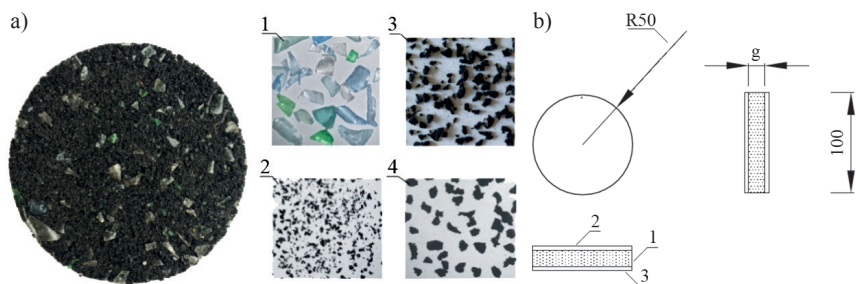
$$w_t = 100 \left(1 - \frac{1}{x} \right) [\%]$$

gdzie :

w_t – tłumienie względne określające, jaka część siły wejściowej jest pochłaniana przez badaną próbkę recyklingowej mieszanki kompozytowej [%],

x – stosunek maksymalnej siły odczytanej na wejściu F_{we} [N] do maksymalnej siły odczytanej na wyjściu F_{wy} [N], $x = \frac{F_{we}}{F_{wy}}$.

Wyniki badań w przypadku drgań o częstotliwości 1000, 1500, 2000 i 2500 Hz wywołanych wzbudnikiem

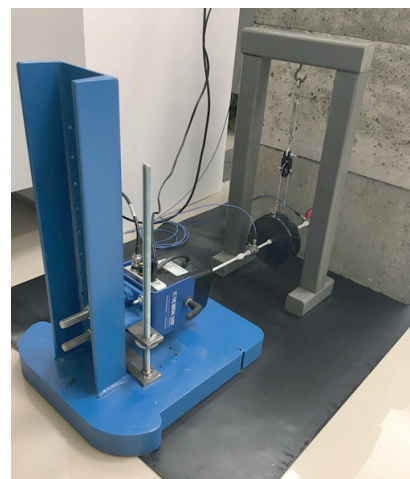


Rys. 2. Próbkę do badania propagacji fali w mieszance kompozytowej: a) po lewej widok mieszanki kompozytowej; po prawej składniki mieszanki kompozytowej: 1 – płatki PET; 2, 3, 4 – granulaty gumowy SBR o frakcji odpowiednio 0÷1 mm, 0,8÷2 mm, 2÷4 mm; b) rzuty prostokątne próbki: 1 – mieszanka kompozytowa; 2, 3 – krążek ze stali S355 grubości 5 mm

Fig. 2. A sample for testing wave propagation in a composite mix: a) on the left, a view of the composite mix; on the right, the components of the composite mixture: 1 – PET flakes; 2, 3, 4 – SBR rubber granulate with a fraction respectively of 0÷1 mm, 0,8÷2 mm, 2÷4 mm; b) orthogonal projections of sample: 1 – composite mix; 2, 3 – circle made of S355 steel, 5 mm thick

przedstawiono w tabeli 5. Na ich podstawie określono, jaki procent siły wejściowej jest pochłaniany przez badaną próbkę z recyklingowej mieszanki kompozytowej. Badane serie 1, 2, 3 wykazują minimalne tłumienia względ-

ne na poziomie 70% w przypadku częstotliwości 1000, 1500, 2000, 2500 Hz. W przypadku serii 3 uzyskano maksymalne tłumienie względne dla częstotliwości 1500 i 2000 Hz wynoszące ponad 94%.



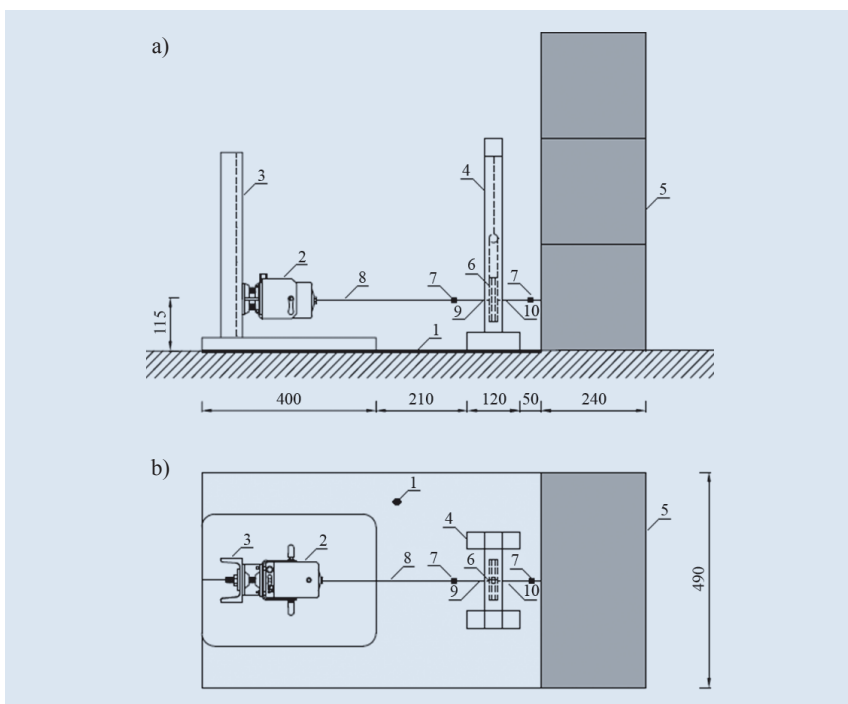
Stanowisko do badań propagacji fali przechodzącej przez próbkę wykonaną z opracowanej recyklingowej mieszanki kompozytowej

Stand for testing the propagation of a wave-passing through a sample made of the developed recycling composite mixture

Podsumowanie i wnioski

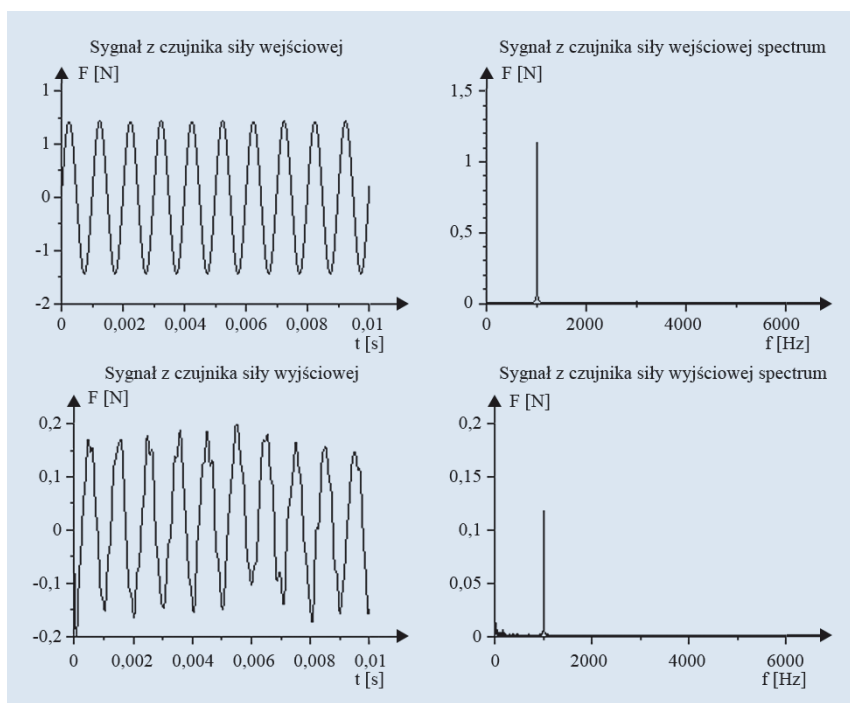
Do oceny efektywności tłumienia propagującej fali recyklingowej mieszanki kompozytowej wykonanej z granulatu gumowego SBR i politereftalanu etylenu w postaci kolorowych płatków PET przyjęto autorski projekt składu mieszanki kompozytowej o maksymalnej szczelności w kompozycie, którą zdefiniowano minimalną jamistością stosu okruszowego zastosowanych składników. Wybrano serię 1 o minimalnej jamistości $j_z = 11,314\%$, serię 2 o minimalnej jamistości $j_z = 12,774\%$ i serię 3 – $j_z = 13,686\%$. Następnie wykonano próbki w kształcie walca i poddano je badaniu efektywności tłumienia w następstwie propagacji fali mechanicznej przez próbkę.

Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzono, że w przypadku badanych częstotliwości 1000, 1500, 2000 i 2500 Hz opracowana mieszanka kompozytowa serii 1, 2, 3 skutecznie redukuje oddziaływanie mechaniczne. Najefektywniejsze tłumienie względne uzyskano w przypadku serii 1 dla częstotliwości 1000, 1500 i 2500 Hz, natomiast w przypadku częstotliwości 2000 Hz najefektywniejsze tłumienie względne uzyskano dla serii 3. Maksymalne tłumienie względne przekroczyło 85%. W każdym z pozostałych przypadków badań uzyskane wartości tłumienia względnego przekraczały 70%.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego: a) widok z boku; b) widok z góry: 1 – gumowa mata wyrównująca grubości 1 mm, 2 – wzбудnik K2007E01, 3 – statyw, 4 – stojak do zawieszenia próbki, 5 – ściana betonowa usztywniająca grubości 24 cm, 6 – badana próbka mieszanki kompozytowej, 7 – czujnik siły 2311-1, 8 – nagwintowany pręt M6 mocujący czujnik siły, 9 – nagwintowany pręt mocujący badaną próbkę mieszanki kompozytowej M5 z czujnikiem siły, 10 – nagwintowany pręt M5 mocujący czujnik siły z próbka

Fig 3. Diagram of the test stand: a) sideview; b) top view: 1 – rubber leveling mat, thickness 1 mm, 2 – inductor K2007E01, 3 – tripod, 4 – stand for hanging the sample, 5 – concrete stiffening wall, thickness 24 cm, 6 – tested sample of the composite mixture, 7 – force sensor 2311-1, 8 – threaded rod M6 fastening the force sensor, 9 – threaded rod fastening the tested sample of the composite mixture M5 with a force sensor, 10 – threaded rod M5 fastening the force sensor with a sample



Rys. 4. Wykresy drgań częstotliwości 1000 Hz wywołanych wzbudnikiem w przypadku próbki mieszanki kompozytowej serii 1 o grubości 20 mm

Fig. 4. Graphs of vibrations caused by the inductor for a sample of the composite mix series 1 with a thickness of 20 mm and a frequency of 1000 Hz

Tabela 5. Wartości siły na wejściu i wyjściu w przypadku propagującej fali mechanicznej przez próbki recyklingowej mieszanki kompozytowej o grubości 20 mm serii 1, 2 i 3

Table 5. List of readings of the input and output force values for the propagating mechanical wave by the samples of the recycling composite mixture with a thickness of 20 mm, series 1, 2 and 3

Nr serii	Częstotliwość sygnału f [Hz]	Maksymalna wartość siły na wejściu F_{we} [N]	Maksymalna wartość siły na wyjściu F_{wy} [N]	Tłumienie względne w_t [%]
1	1000	1,5	0,2	86,7
	1500	2,8	0,09	96,8
	2000	0,55	0,075	86,3
	2500	0,32	0,045	85,7
2	1000	1,05	0,29	72,2
	1500	1,8	0,12	93,3
	2000	0,5	0,08	83,9
	2500	0,3	0,09	69,7
3	1000	1,4	0,22	84,4
	1500	2,6	0,14	94,62
	2000	0,5	0,055	94,5
	2500	0,28	0,06	78,7

Na podstawie opracowanej metody badań można optymalizować skład mieszanek kompozytowych, z różnych materiałów recyklingowych. Opracowana mieszanka może być stosowana do wypełnienia otworów ceramicznych lub betonowych ażurowych pustaków ściennych. W efekcie możliwa będzie redukcja oddziaływań mechanicznych

propagujących w postaci mechanicznej fali zaburzenia, przez mur np. pełniący rolę ściany fundamentowej budynku.

Fale mechaniczne pojawiające się w następstwie oddziaływań dynamicznych spowodowanych np. działaniem maszyn i urządzeń powodujących powstawanie drgań przenoszonych przez podłoże na ściany budynku można

skutecznie ograniczyć z zastosowaniem zaprezentowanego rozwiązania, poprawiając znacznie komfort użytkowy osób znajdujących się wewnątrz budynków. Takie oddziaływanie są również przenoszone przez grunt w pobliżu istniejących torowisk lub dróg o dużym natężeniu ruchu. Z racji wykazanej skuteczności opracowane rozwiązanie recyklingowej mieszanki kompozytowej może być powszechnie stosowane w budownictwie, przyczyniając się również do zagospodarowywania materiałów recyklingowych.

Literatura

- [1] Ustawa z 14 grudnia 2012 r. O odpadach (Dz.U. z 24 maja 2018 r. z późniejszymi zmianami), opracowanie na podstawie: Dz.U. z 2022 r. poz. 699, 1250, 1726.
- [2] Adamczyk-Królak I. Guma i politereftalan etylenu z recyklingu – składniki materiałów, Zeszyty Naukowe Politechniki Częstochowskiej, Budownictwo, 2018; 24:9-12, DOI: 10.1051/e3sconf/20199702029.
- [3] Adamczyk I. Alternatywne składniki materiałów budowlanych, Materiały Kompozytowe, Media Tech, ISSN 2084-1949, 2019; 3(32):56-59.
- [4] Smejda-Krzewicka A, Olejnik A, Dmowska-Jasek P. Przegląd metod recyklingu opon, Czasopismo naukowo-dydaktyczne Wydziału Chemicznego Politechniki Łódzkiej, 2015; 2:12-15.
- [5] Flores Medina N, Garcia R, Hajirasouliha I, Pilakoutas K, Guadagnini M, Raffoul S. Composites with recycled rubber aggregates: Properties and opportunities in construction, Construction and Building Materials, 2018; 188:884-897, DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.08.069.
- [6] Corredor-Bedoya AC, Zoppi AR, Serpa AL. Composites of scrap tire rubber particles and adhesive mortar – Noise insulation potential, Cement and Concrete Composites, 2017; 82:45-66, DOI: 10.1016/j.cemconcomp.2017.05.007.
- [7] Major M, Adamczyk-Królak I. Mieszanka kompozytowa, zwłaszcza do ażurowych pustaków ściennych. Politechnika Częstochowska, 427423/2018; Zgłoszenie patentowe U.P.R.P.
- [8] Karta techniczna granulatu gumowego SBR, Orzeł S.A, Poniatoła, www.orzelsa.com.
- [9] Buczek B, Chwiłkowski W. Sposoby zagospodarowania odpadów z politereftalanu etylenu, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, 2010; 841:5-22.
- [10] Ćwiek-Ludwicka K. Politereftalan Etylenu (PET) – Aspekty zdrowotne i zastosowanie do pakowania żywności, Zakład Badania Żywności i Przedmiotów Użytku, Państwowy Zakład Higieny, Warszawa, 2003; 2(54):175-182.
- [11] Zasoby internetowe: www.plastem.pl tworzywa sztuczne (dane z dnia 10.10.2022).
- [12] Królikowski W, Rubinowicz W. Mechanika teoretyczna. PWN. Warszawa, 2012.

Przyjęto do druku: 16.10.2022 r.