

JAN SIKORA, JADWIGA TURKIEWICZ\*

## MATERIAŁY ZIARNISTE W PRZEGRODACH WARSTWOWYCH ZABEZPIECZEŃ PRZECIWAHAŁASOWYCH

### GRANULAR MATERIALS IN LAMINAR PARTITIONS OF NOISE PROTECTION SYSTEMS

#### Streszczenie

W artykule przedstawiono wybrane wyniki rozszerzonego programu badań właściwości dźwiękochłonnych materiałów ziarnistych (granulaty z polipropylenu, styropianu, keramzytu, gumy, wełny mineralnej, piasek kwarcowy), jakie przeprowadzono w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki w latach 2008–2010. Materiałami ziarnistymi w swej naturalnej postaci oraz granulatai powstałymi z przetworzonych technologicznie substancji stałych autorzy zajmują się od kilku lat, upatrując w nich możliwi do stosowania rdzeń dźwiękochłonny w ściankach zabezpieczeń ograniczających nadmierną aktywność akustyczną źródeł hałasu wewnętrznego i zewnętrznego. Opublikowane w 2007 roku artykuły z wynikami wstępnych badań właściwości akustycznych wybranych materiałów ziarnistych znalazły zainteresowanie wśród producentów zabezpieczeń przeciwhałasowych, w tym ekranów akustycznych. Powstały nowe rozwiązania paneli akustycznych z warstwami granulatu z różnych tworzyw, charakteryzujące się bardzo dobrymi parametrami izolacyjności akustycznej, konkurencyjnymi dla klasycznych rozwiązań.

*Słowa kluczowe: współczynnik pochłaniania dźwięku, materiały dźwiękochłonne, zwalczanie hałasu*

#### Abstract

This paper presents the selected results of the expanded research program on sound-absorbing properties of granular materials (granular polypropylene, foamed polystyrene, gravelite, rubber, mineral wool, high-silica sand), executed at the Department of Mechanics and Vibroacoustics in 2008–2010. The authors have worked for several years on granular materials in their natural form and on granulated products formed from processed solids, expecting that it would be possible to use them as the sound absorbing core in protection walls that limit the excessive acoustic activity of internal and external noise sources. The papers published in 2007, presenting the findings of preliminary research on acoustic properties of the selected granular materials, aroused interest among the manufacturers of noise protections, including acoustic screens. New acoustic panel solutions have been created, with layers of various granular materials, featuring very good acoustic insulation, competitive for classic solutions.

*Keywords: sound absorption coefficient, sound absorbing materials, noise control*

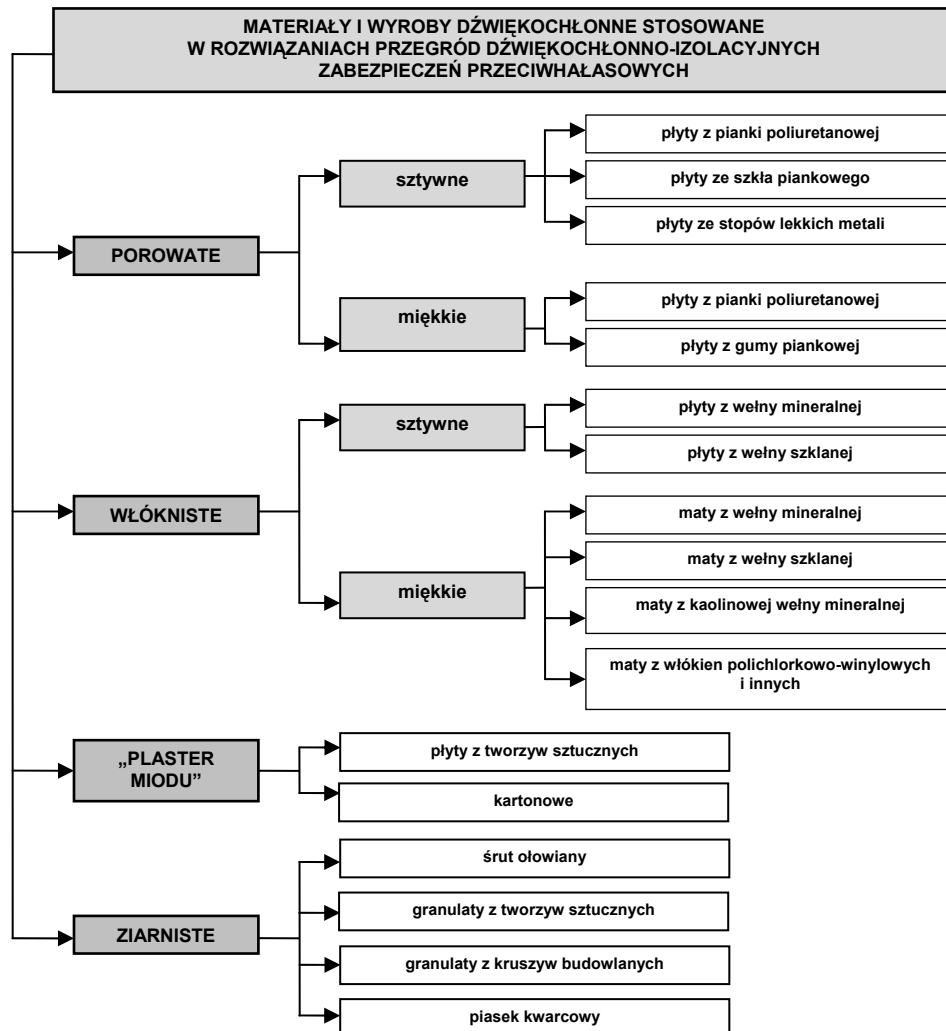
\* Dr inż. Jan Sikora, dr inż. Jadwiga Turkiewicz, Katedra Mechaniki i Wibroakustyki, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza.

## 1. Wstęp

W rozwiązaniach konstrukcyjnych przegród warstwowych, stanowiących elementy ściennie zabezpieczeń przeciwhałasowych ograniczających hałas przemysłowy (obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne) i komunikacyjny (ekrany akustyczne), stosuje się najczęściej dwa rodzaje materiałów skojarzonych ze sobą: materiały dźwiękochłonne i dźwiękoizolacyjne. Nowy rodzaj materiałów dźwiękochłonnych stanowią materiały ziarniste. Materiałami ziarnistymi w swej naturalnej postaci oraz granulatami powstałymi z przetworzonych technologicznie substancji stałych autorzy zajmują się od kilku lat, upatrując w nich możliwy do stosowania rdzeń dźwiękochłonny w ściankach zabezpieczeń ograniczających nadmierną aktywność akustyczną źródeł hałasu wewnętrznego i zewnętrznego. Opublikowane w 2007 roku artykuły [1, 2] z wynikami wstępnych badań właściwości akustycznych wybranych materiałów ziarnistych znalazły zainteresowanie wśród producentów ekranów akustycznych. Powstały nowe rozwiązania paneli akustycznych z warstwami granulatów z różnych tworzyw, charakteryzujące się bardzo dobrymi parametrami izolacyjności akustycznej, konkurencyjnymi dla klasycznych rozwiązań. W artykule przedstawiono wybrane wyniki rozszerzonego programu badań właściwości dźwiękochłonnych materiałów ziarnistych, jakie przeprowadzono w Katedrze Mechaniki w latach 2008–2010.

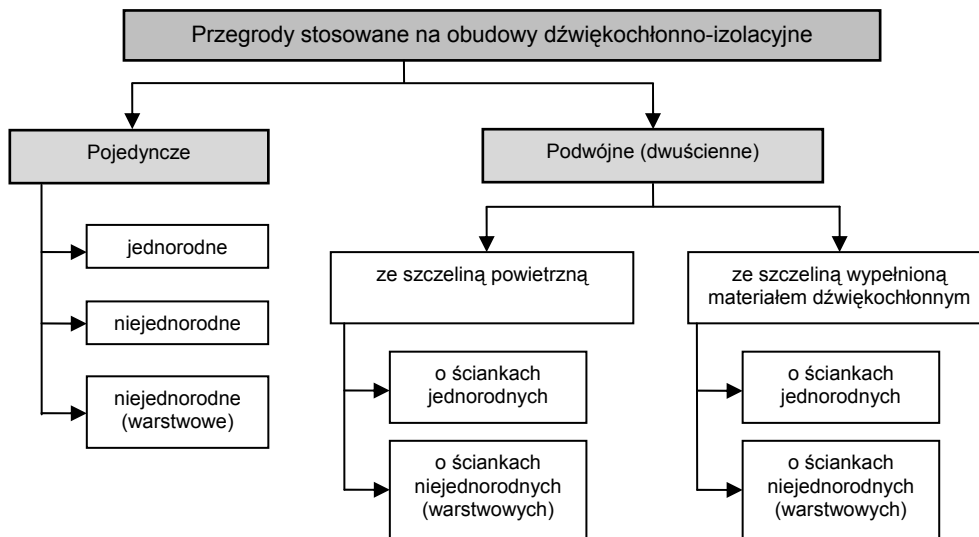
## 2. Warstwy dźwiękochłonne z materiałów ziarnistych w przegrodach warstwowych

W wibroakustyce przemysłowej (zabezpieczenia przeciwhałasowe), podobnie jak w akustyce budowlanej, operuje się pojęciem przegrody, charakteryzującej się własnościami dźwiękoizolacyjnymi bądź dźwiękochłonno-izolacyjnymi. Wzorując się na klasyfikacjach przegród budowlanych oraz materiałów i wyrobów dźwiękochłonnych występujących w akustyce budowlanej, w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki opracowano klasyfikacje przydatne w projektowaniu zabezpieczeń przeciwhałasowych ograniczających hałas maszyn i urządzeń, a także hałas komunikacyjny (rys. 1, 2 i 3). Wśród przegród stosowanych w wibroakustyce występują przegrody warstwowe, zarówno pojedyncze, jak i wielokrotnie złożone, zwłaszcza podwójne dwuścienne. W obu typach przegród stosuje się warstwy materiałów dźwiękochłonnych spełniających funkcję zewnętrznej wykładziny dźwiękochłonnej lub rdzenia dźwiękochłonnego. Funkcję rdzenia dźwiękochłonnego mogą z powodzeniem spełniać warstwy materiałów ziarnistych (granulatów) pochodzenia naturalnego i sztucznego.



Rys. 1. Klasyfikacja materiałów i wyrobów dźwiękochłonnych występujących w przegrodach (ściankach) zabezpieczeń przeciwhałasowych

Fig. 1. Classification of sound absorbing materials and products utilized in partitions of noise protecting devices

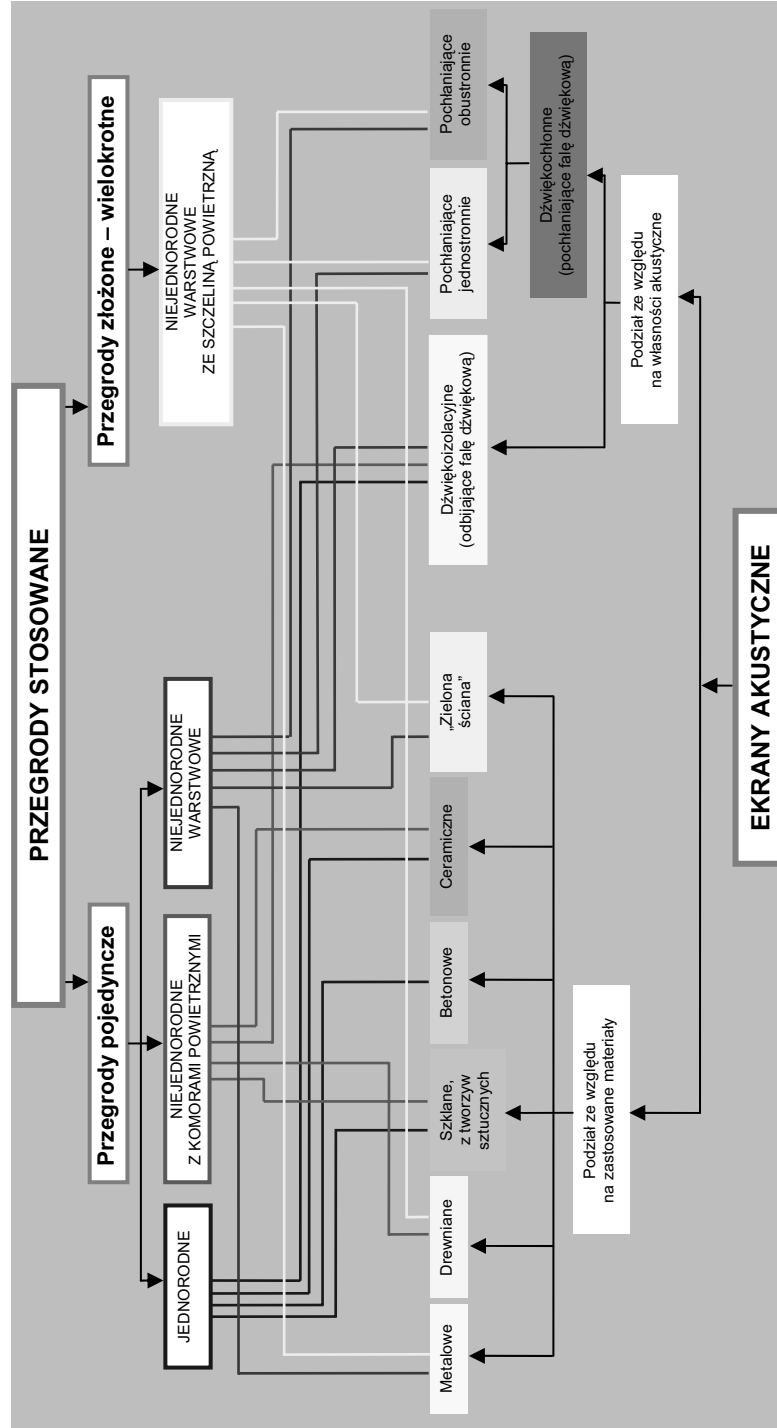


Rys. 2. Klasyfikacja przegród dźwiękoizolacyjnych i dźwiękochłonna-izolacyjnych stosowanych w rozwiązaniach obudów klasycznych i zintegrowanych

Fig. 2. Classification of sound insulating and sound-absorbing insulating partitions used for classical and integral enclosures

### 3. Badania materiałów ziarnistych






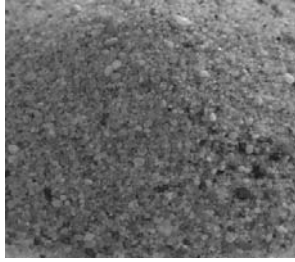
Program badań właściwości dźwiękochłonnych (fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha_f$ ) zakładał przetestowanie dziesięciu materiałów ziarnistych (granulatów) o różnych gęstościach objętościowych, frakcji i kształcie ziaren oraz z różnych tworzyw. Badania doświadczalne przeprowadzono dla próbek granulatów w pięciu wersjach grubości warstwy (10, 20, 30, 40 i 50 mm). Pozwoliło to na określenie wpływu grubości warstwy na charakterystykę pochłaniania dźwięku. Przyjęty do badań zakres grubości warstwy podyktowany był praktycznym wykorzystaniem rdzeni dźwiękochłonnych i zewnętrznych warstw dźwiękochłonnych z materiałów ziarnistych zarówno w panelach ekranów akustycznych, jak i w rozwiązaniach ścianek elementów zintegrowanych obudów dźwiękochłonna-izolacyjnych oraz korpusów maszyn o zwiększonej izolacyjności akustycznej. Badaniami objęto granulaty z tworzywa sztucznego (polipropylen w pięciu odmianach, styropian), z tworzywa budowlanego (keramzyt), tworzywa naturalnego (piasek kwarcowy), gumy oraz wełny mineralnej produkowanej w postaci zlepków włókien (nazwanych przez producenta „granulatem”). Ten nietypowy granulaty wybrano do badań z dwóch powodów. Pierwszy to zastosowanie – podobnie jak materiały ziarniste granulaty z wełny mineralnej stosowany jest w przestrzeniach i komorach przegród, w których nie można zastosować materiałów dźwiękochłonnych w postaci płyt czy mat (granulaty z wełny mineralnej stosowany jest jako rdzeń dźwiękochłonny w płytach stropowych kanałowych). Drugi – dla celów porównawczych charakterystyk pochłaniania dźwięku z wynikami badań rzeczywistych granulatów (materiałów ziarnistych). W tabeli 1 zamieszczono zestawienie wykorzystanych w badaniach materiałów.



Rys. 3. Klasyfikacja ekranów akustycznych i przegród stosowanych jako elementy ścienne w ekranach

Fig. 3. Classification of acoustic baffles and partitions used as wall elements in baffles

Zestawienie materiałów ziarnistych wykorzystanych w badaniach

Własności materiału ziarnistego (granulatu)	Widok struktury	Własności materiału ziarnistego (granulatu)	Widok struktury
	Nazwa materiału		Nazwa materiału
Gęstość objętościowa: 500 kg/m <sup>3</sup> Fracja ziarna: 4–6 mm Kształt ziarna: owalne, regularne	 Polipropylen V	Gęstość objętościowa: 1 kg/m <sup>3</sup> Fracja ziarna: 1–5 mm Kształt ziarna: kuliste, regularne	 Styropian
Gęstość objętościowa: 450 kg/m <sup>3</sup> Fracja ziarna: 3–15 mm Kształt ziarna: owalne, nieregularne	 Keramzyt	Gęstość objętościowa: 460 kg/m <sup>3</sup> Fracja ziarna: 1 × 2–4 mm Kształt ziarna: wiórki, nieregularne	 Guma
Gęstość objętościowa: 40 kg/m <sup>3</sup> Fracja: 10 × 20–40 mm Kształt: zlepki, nieregularne	 Włna mineralna	Gęstość objętościowa: 1440 kg/m <sup>3</sup> Fracja ziarna: do 1–2 mm Kształt ziarna: owalne, nieregularne	 Piasek kwarcowy

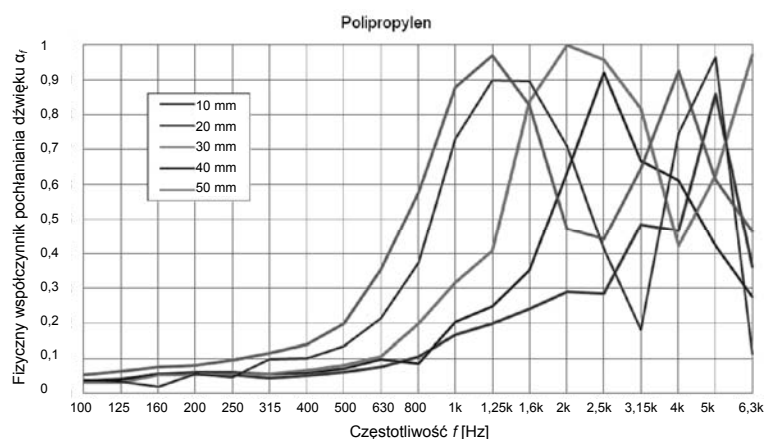
Szczegółową analizę wyników uzyskanych z badań doświadczalnych na ogólnej liczbie 50 próbek materiałów ziarnistych (dziesięć rodzajów materiałów dla pięciu grubości warstwy) przeprowadzono, przyjmując następujące kryteria oceny:

- grubość warstwy materiału,
- rodzaj materiału (tworzywo sztuczne, naturalne, budowlane),
- struktura materiału (wielkość i kształt ziarna),
- gęstość objętościowa (pozorna).

Przyjęte powyżej kryteria stanowiły podstawę do opracowania zestawień porównawczych uzyskanych charakterystyk pochłaniania dźwięku w 1/3-oktawowych pasmach częstotliwości [3], pozwalających odpowiedzieć na następujące pytania:

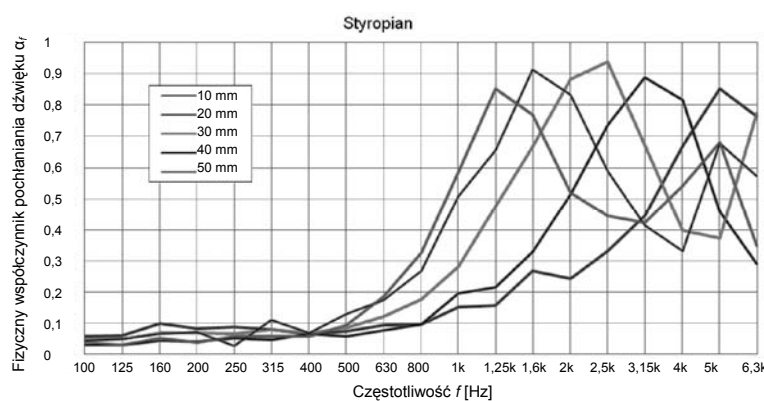
- jaki wpływ na charakterystykę pochłaniania dźwięku ma grubość warstwy materiału ziarnistego,
- czy rodzaj tworzywa, z którego wykonano granulát lub jego pochodzenie (naturalny sztuczny), ma wpływ na własności pochłaniania dźwięku,
- czy struktura (wielkość i kształt ziarna, porowatość lub włóknistość granulatu) materiału ziarnistego wpływa na charakterystykę pochłaniania dźwięku,
- jaki wpływ na dźwiękochłonność materiału ziarnistego ma jego gęstość objętościowa.

Poniżej zamieszczono wyniki badań w formie uproszczonej w postaci wykresów (rys. 4–9) zawierających porównanie właściwości pochłaniających dla sześciu przetestowanych materiałów dla pięciu grubości warstwy. Wartości fizycznego współczynnika pochłaniania  $\alpha_f$  dźwięku podano dla częstotliwości środkowych pasm 1/3-oktawowych.



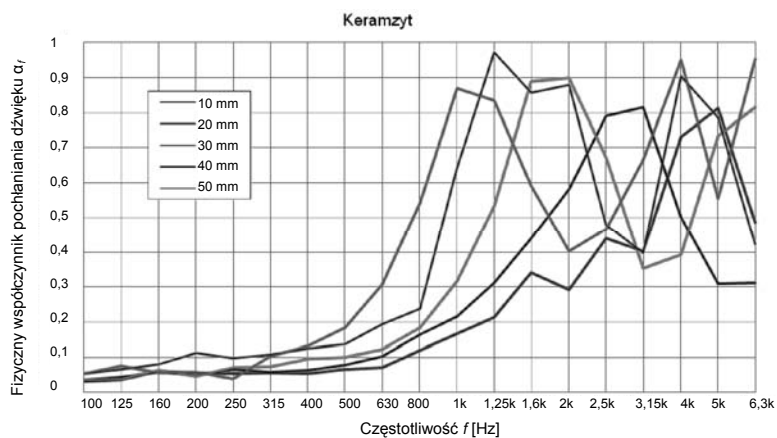
Rys. 4. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku granulatu z polipropylenu

Fig. 4. Comparison of sound absorption characteristics of granular polypropylene



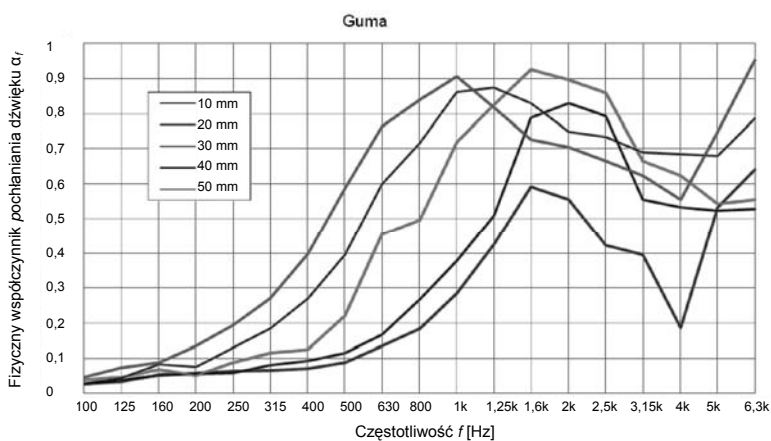
Rys. 5. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku granulatu ze styropianu

Fig. 5. Comparison of sound absorption characteristics of granular foamed polystyrene



Rys. 6. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku granulatu z keramzytu

Fig. 6. Comparison of sound absorption characteristic of granular gravelite



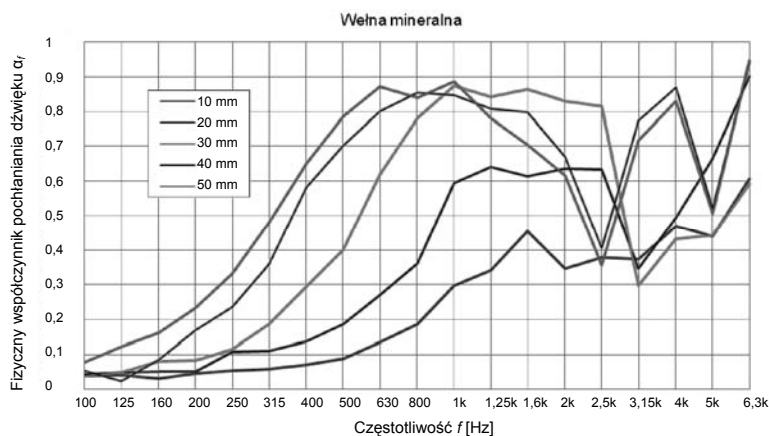
Rys. 7. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku granulatu gumowego

Fig. 7. Comparison of sound absorption characteristics of rubber granulate

Z przeprowadzonej analizy wyników badań doświadczalnych wynikają następujące wnioski przydatne dla projektantów zabezpieczeń przeciwhałasowych:

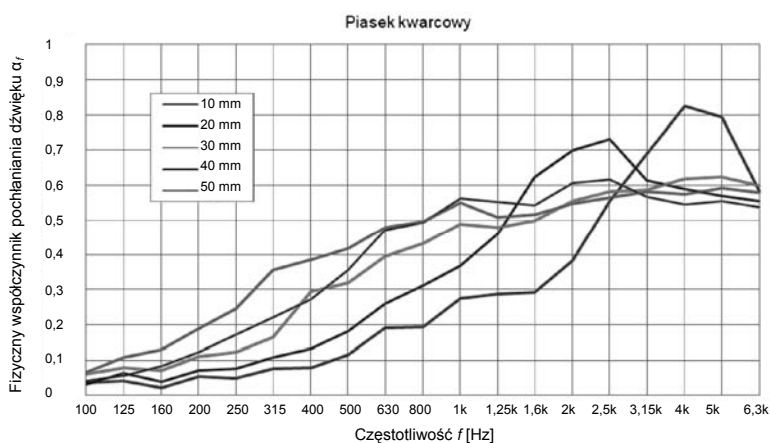
1. We wszystkich zbadanych próbkach materiałów ziarnistych występuje wyraźny wpływ grubości warstwy na wzrost pochłaniania dźwięku. Niezależnie od ich struktury oraz gęstości objętościowej wzrost grubości warstwy powoduje wzrost średniego współczynnika pochłaniania dźwięku.
2. Na kształt charakterystyki pochłaniania dźwięku ma wpływ struktura materiału ziarnistego bez względu na jego rodzaj. Granulaty z polipropylenu, keramzytu i styropianu można zaliczyć do materiałów dźwiękochłonnych wąskopasmowych, ze względu na





Rys. 8. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku granulatu z wełny mineralnej

Fig. 8. Comparison of sound absorption characteristics of mineral wool granulate



Rys. 9. Porównanie charakterystyk pochłaniania dźwięku piasku kwarcowego

Fig. 9. Comparison of sound absorption characteristics of high-silica sand

pasmo częstotliwości (poniżej jednej oktawy), w którym występuje największe pochłanianie dźwięku. Ze wzrostem grubości warstwy częstotliwość rezonansowa, dla której występuje największe pochłanianie dźwięku, przesuwa się w kierunku częstotliwości średnich (1000 Hz–1600 Hz).

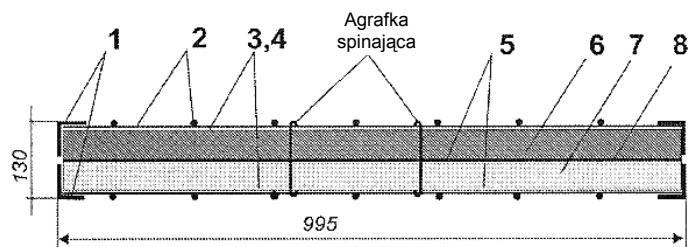
- Charakterystyki pochłaniania dźwięku granulatu gumowego oraz piasku kwarcowego są zbliżone kształtem do charakterystyki granulatu z wełny mineralnej. Te materiały ziarniste można zaliczyć do materiałów dźwiękochłonnych szerokopasmowych (o szerokości ponad cztery oktawy), z tym że granulatu gumowego ma właściwości pochłaniania dźwięku prawie identyczne, jak granulatu z wełny mineralnej. Piasek kwarcowy charak-

teryzuje się znacznie mniejszym pochłanianiem od granulatu gumowego w zakresie częstotliwości 500 Hz–2500 Hz. Natomiast w zakresie częstotliwości niskich, poniżej 315 Hz, pochłanianie piasku jest lepsze od granulatu gumowego.

4. Gęstość objętościowa zbadanych materiałów ziarnistych ma najmniejszy wpływ na charakterystykę pochłaniania dźwięku. Nie stwierdzono znaczącej różnicy nawet w przypadku porównania granulatów ze styropianu ( $1 \text{ kg/m}^3$ ) i polipropylenu ( $630 \text{ kg/m}^3$ ).

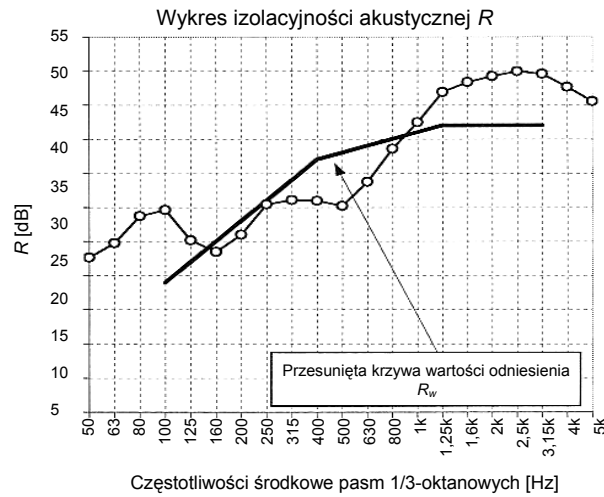
#### 4. Zastosowania praktyczne materiałów ziarnistych

Autor artykułu od wielu lat stosuje materiały ziarniste w prototypowych rozwiązaniach materiałowo-konstrukcyjnych elementów ściennych zintegrowanych obudów dźwiękochłonno-izolacyjnych [5]. Obecnie zaczynają one być stosowane w rozwiązaniach paneli ekranów akustycznych (metalowych oraz typu „zielona ściana”) jako warstwy dźwiękochłonne, a także dźwiękoizolacyjne (granulaty z kruszyw budowlanych). Poniżej przedstawiono dla celów porównawczych wyniki badań akustycznych panelu ekranu akustycznego typu „zielona ściana” z zastosowaną warstwą keramzytu (rys. 10–13) i panelu klasycznego (rys. 14 i 15). Jak widać z rys. 13, charakterystyka pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku najwyższą wartość osiąga dla częstotliwości 1 kHz. Można stwierdzić dużą zgodność z wynikami badania fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku samej warstwy granulatu z keramzytu o grubości 50 mm (rys. 6). Porównanie charakterystyk izolacyjności akustycznej i wskaźników jednoliczbowych panelu z keramzytem (rys. 11) i klasycznego (rys. 15) wychodzi zdecydowanie na korzyść pierwszego.



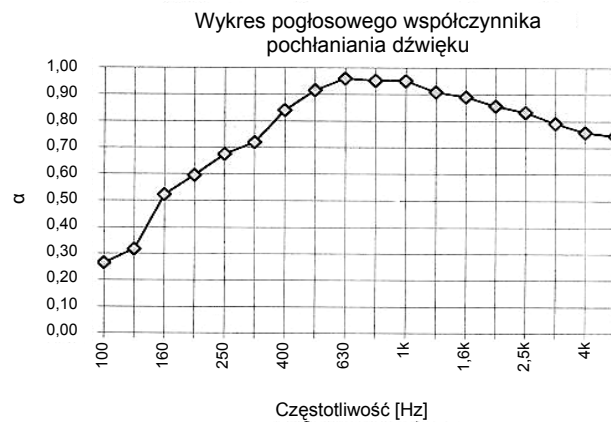
Rys. 10. Schemat przekroju poprzecznego panelu „zielona ściana” z warstwą materiału ziarnistego:  
1, 2, 3, 4, 5 – elementy materiałowo-konstrukcyjne, 6 – wełna mineralna ( $80 \text{ kg/m}^3$ ) – 50 mm,  
7 – warstwa granulatu z keramzytu – 50 mm, 8 – płyta wiórowo-cementowa – 10 mm

Fig. 10. Diagram showing cross-section of „green wall” – type panel with granular material layer:  
1, 2, 3, 4, 5 – material and construction elements, 6 – mineral wool ( $80 \text{ kg/m}^3$ ) – 50 mm,  
7 – gravelite granulate layer – 50 mm, 8 – chip-cement board – 10 mm



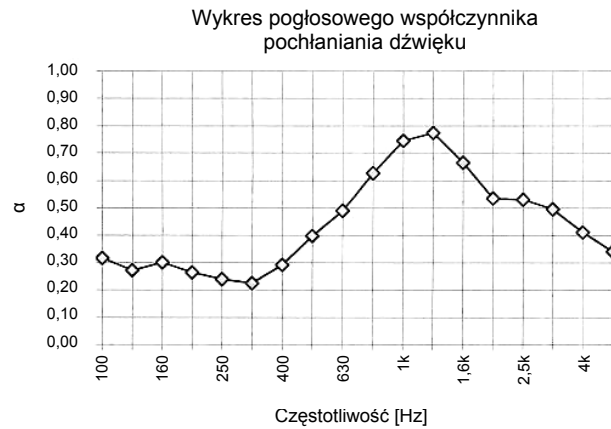
Rys. 11. Charakterystyka izolacyjności akustycznej panelu z warstwą keramzytu. Wskaźniki jednoliczbowe:  $R_w = 38$  dB,  $DL_R = 34$  dB (klasa izolacyjności B3)

Fig. 11. Acoustic insulation characteristic for panel with gravelite layer. One number indexes:  $R_w = 38$  dB,  $DL_R = 34$  dB (insulation class: B3)



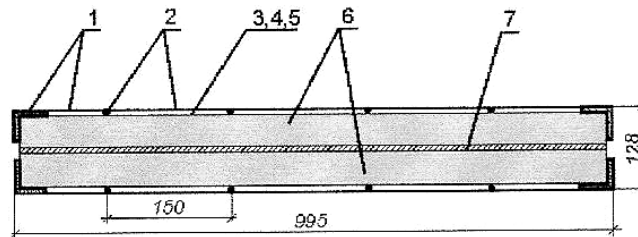
Rys. 12. Charakterystyka pochłaniania dźwięku panelu z warstwą keramzytu od strony wełny mineralnej. Wskaźniki jednoliczbowe:  $\alpha_{s, \text{sr}} = 0,75$ ,  $DL_\alpha = 9$  dB (klasa pochłaniania A3)

Fig. 12. Sound absorption characteristic for panel with gravelite layer on mineral wool side. One number indexes:  $\alpha_{s, \text{sr}} = 0,75$ ,  $DL_\alpha = 9$  dB (absorption class: A3)



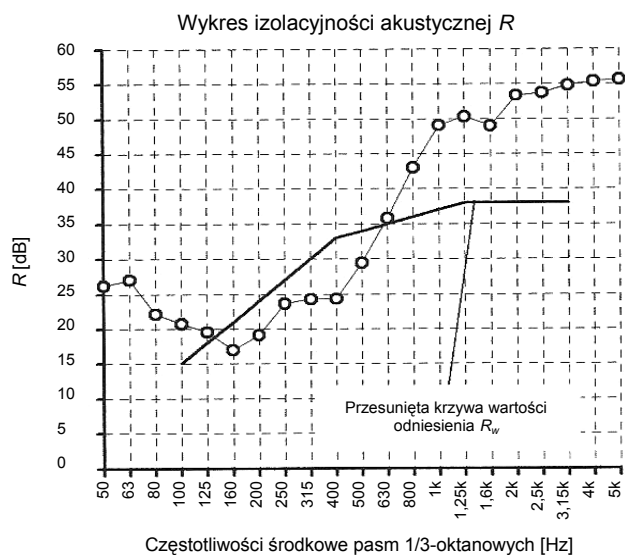
Ryc. 13. Charakterystyka pochłaniania dźwięku panelu z warstwą keramzytu od strony warstwy z granulatem. Wskaźniki jednoliczbowe:  $\alpha_{s, sr} = 0,44$ ,  $DL_{\alpha} = 4$  dB (klasa pochłaniania A2)

Fig. 13. Sound absorption characteristic for panel with gravelite layer on granulate layer side. One number indexes:  $\alpha_{s, sr} = 0,44$ ,  $DL_{\alpha} = 4$  dB (absorption class: A2)



Rys. 14. Schemat przekroju poprzecznego klasycznego panelu „zielona ściana”: 1, 2, 3, 4, 5 – elementy materiałowo-konstrukcyjne, 6 – wełna mineralna ( $85 \text{ kg/m}^3$ ) – 50 mm, 7 – płyta wiórowo-cementowa – 10 mm

Fig. 14. Diagram showing cross-section of conventional „green wall” panel: 1, 2, 3, 4, 5 – material and construction elements, 6 – mineral wool ( $85 \text{ kg/m}^3$ ) – 50 mm, 7 – chip-cement board – 10 mm



Rys. 15. Charakterystyka izolacyjności akustycznej klasycznego panelu. Wskaźniki jednolicebne:  $R_w = 34$  dB,  $DL_R = 29$  dB (klasa izolacyjności B3)

Fig. 15. Acoustic insulation characteristic for conventional panel. One number indexes:  $R_w = 34$  dB,  $DL_R = 29$  dB (insulation class: B3)

## 5. Wnioski

Poszerzone badania doświadczalne wybranej grupy materiałów ziarnistych potwierdziły ich właściwości dźwiękochłonne (zasygnalizowane po wstępnych badaniach sondażowych w roku 2007 [1]), a co za tym idzie przydatność zastosowania w nowych rozwiązaniach elementów ściennych zabezpieczeń przeciwhałasowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że ze względu na pasmo częstotliwości, w którym występuje największe pochłanianie dźwięku, materiały ziarniste można podzielić na wąskopasmowe i szerokopasmowe. Do pierwszej grupy można zaliczyć granulaty z polipropylenu, keramzytu i styropianu. Do drugiej granulaty gumowy i piasek kwarcowy, których charakterystyki mają kształt podobny do granulatu z wełny mineralnej (szerokopasmowa). Obie grupy materiałów ziarnistych mogą mieć zastosowanie praktyczne. Granulaty o pochłanianiu wąskopasmowym w zakresie częstotliwości od 500 Hz do 2000 Hz mogą być bardzo przydatne jako dodatkowe warstwy dźwiękochłonne w panelach – elementach ściennych ekranów akustycznych, wpływające na zwiększenie jednolicebnych wskaźników izolacyjności  $R_w$  i  $DL_R$ . Pierwsze innowacyjne rozwiązania paneli ekranów akustycznych z warstwami keramzytu oraz granulatu z tworzyw sztucznych otrzymanych na drodze recyklingu charakteryzują się bardzo dobrymi parametrami akustycznymi, gwarantującymi konkurencyjność w stosunku do paneli akustycznych z klasycznymi warstwami dźwiękochłonnymi. Piasek kwarcowy ma szczególnie zastosowanie jako rdzeń dźwiękochłonny w przegrodach dźwiękoizolacyjnych zabezpieczeń ograniczających źródła hałasu o bardzo wysokiej aktywności akustycznej.

Autor wiąże duże nadzieje z granulatami gumowymi, zwłaszcza że otrzymuje się je z odpadów poprodukcyjnych oraz ze zużytych wyrobów gumowych. Mogą one występować w postaci granulatów, ale także w postaci płyt ze sklejonego granulatu gumowego. Tego typu warstwy gumowe mogą mieć zastosowanie w elementach ściennych zabezpieczeń przeciwhałasowych, wpływających na zwiększenie ich izolacyjności akustycznej.

*Praca wykonana w ramach badań statutowych Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w latach 2010–2013, zadanie badawcze nr 6: „Nowe rozwiązania materiałowe przegród warstwowych w projektowaniu zabezpieczeń wibroakustycznych maszyn i urządzeń”.*

#### Literatura

- [1] Sikora J., *Dźwiękochłonne właściwości materiałów ziarnistych*, IZOLACJE, Budownictwo, Przemysł, Ekologia, nr 9, 2007, 26-29.
- [2] Sikora J., Turkiewicz J., *Przegrody dwuścienne z rdzeniami dźwiękochłonnymi z materiałów ziarnistych*, IZOLACJE, Budownictwo, Przemysł, Ekologia, nr 10, 2007, 28-33.
- [3] Galas M., *Badania doświadczalne własności dźwiękochłonnych wybranych materiałów ziarnistych*, praca magisterska, AGH, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Kraków 2008.
- [4] Sikora J., Turkiewicz J., *Experimental determination of sound absorbing coefficient for selected granular materials*, Mechanics, AGH University of Science and Technology, Cracow 2009, Quarterly, Vol. 28, No. 1, 26-30.
- [5] Sikora J., *Obudowa maszyn i urządzeń, jako sposób ochrony stanowisk pracy przed hałasem*, Materiały Budowlane nr 8/2005, 35-37.