

JADWIGA TURKIEWICZ, JAN SIKORA*

DOŚWIADCZALNE WYZNACZENIE
WSPÓŁCZYNNIKA POCHŁANIAŃ DŹWIĘKU
MATERIAŁÓW WŁÓKNISTYCH I WIÓROWYCH
BĘDĄCYCH ODPADAMI PRODUKCYJNYMIEXPERIMENTAL DETERMINATION OF SOUND
ABSORPTION COEFFICIENT OF FIBROUS AND SHAVING
MATERIALS WHICH ARE WASTE PRODUCTS

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań akustycznych pod kątem określenia właściwości dźwiękochłonnych materiałów będących odpadami produkcyjnymi. Materiały te mają strukturę włóknistą i strukturę wiór. Uzyskanie pozytywnych wyników z przeprowadzonych wstępnych badań akustycznych stwarza nadzieję na możliwość zagospodarowania odpadów produkcyjnych poprzez ich wykorzystanie w konstrukcjach zabezpieczeń przeciwhałasowych. Fakt ten wydaje się obecnie dość istotny, zwłaszcza że wiele zakładów produkcyjnych boryka się z tego typu trudnościami, stwarzając problemy natury ekologicznej.

Słowa kluczowe: współczynnik pochłaniania dźwięku, materiały dźwiękochłonne, zwalczanie hałasu maszyn i urządzeń

Abstract

The results of acoustic tests, performed in order to determine sound absorbing properties of materials being waste products, are presented in the paper. Those materials are of a fibrous and shavings structure. The positive preliminary results indicate the possibility of those waste management, by utilising them in noise protection constructions. This fact is of a significant meaning since now-a-days several production plants are wrestling with excessive noises constituting ecological problems.

Keywords: sound absorption coefficient, sound absorbing materials, noise control of machines and devices

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

1. Wstęp

Pochłanianie dźwięku jest to zjawisko pobierania energii akustycznej z rozpatrywanego obszaru środowiska oraz przenoszenia jej poza ten obszar bądź zamiany jej na energię cieplną.

Pierwszy rodzaj pochłaniania dotyczy rozchodzenia się dźwięku w otwartej przestrzeni, gdy energia akustyczna unoszona jest poza wyodrębniony obszar, np. w pomieszczeniu, którego otwarte okna pozwalają na wypromieniowanie energii na zewnątrz. Energia ta tracona jest tylko pod kątem widzenia danego układu, nie zaś w sensie bezwzględnym.

Drugi rodzaj pochłaniania związany jest z właściwościami samego środowiska i ustroju ograniczającego pomieszczenie. Ten rodzaj pochłaniania jest bardzo istotny, gdyż materiały mające taką zdolność pochłaniania dźwięku znajdują szerokie zastosowanie w technicznych metodach zwalczania hałasu zarówno w miejscach pracy, jak i w środowisku zewnętrznym. Metody te umożliwiają kształtowanie klimatu akustycznego o parametrach zgodnych z normowymi wymaganiami akustycznymi.

Obecnie istnieje wiele rodzajów materiałów dźwiękochłonnych wykorzystywanych w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych. Niemniej jednak w wielu ośrodkach naukowo-badawczych ciągle prowadzone są badania, których celem jest pozyskanie nowych materiałów mających lepsze właściwości akustyczne i jednocześnie dużą trwałość i odporność na czynniki chemiczne. Istotny jest także czynnik ekonomiczny, czyli cena stosowanych materiałów dźwiękochłonnych. Z tego również powodu w Katedrze Mechaniki i Wibroakustyki AGH podjęto badania akustyczne materiałów-odpadów produkcyjnych (dostarczonych przez właścicieli zakładów borykających się z dużą ilością odpadów) pod kątem określenia właściwości dźwiękochłonnych, których sama struktura wstępnie rokowała uzyskanie pozytywnych rezultatów.

Celem tych badań było przeprowadzenie wstępnej oceny ich własności pochłaniających, a tym samym określenie ich przydatności do zastosowania w konstrukcjach biernych zabezpieczeń przeciwhałasowych. Uzyskanie wstępnych pozytywnych wyników badań otwiera możliwość zagospodarowania odpadów produkcyjnych (składowanie odpadów i ich utylizacja stanowią poważny problem). Jednocześnie byłaby możliwość wykorzystania w konstrukcjach zabezpieczeń przeciwhałasowych dużo tańszych materiałów mających własności pochłaniające niż obecnie stosowane. Ostateczną weryfikacją byłoby użycie takiego materiału w konkretnym rozwiązaniu zabezpieczenia przeciwhałasowego i porównanie na drodze pomiarowej osiągniętego obniżenia aktywności akustycznej źródła hałasu z przypadkiem, gdy w identycznym zabezpieczeniu akustycznym zastosowano materiał tradycyjny, np. wełnę mineralną.

W celu określenia własności pochłaniających dźwięk danego materiału posługujemy się tzw. współczynnikiem pochłaniania dźwięku. Współczynnik pochłaniania dźwięku jest to iloraz energii akustycznej pochłoniętej przez dany materiał $E_{\text{pochł}}$ do energii akustycznej fali padającej E_c [1]

$$\alpha = \frac{E_{\text{pochł}}}{E_c}$$

W praktyce można posługiwać się dwoma rodzajami współczynnika pochłaniania dźwięku: fizycznym i pogłosowym. Jeżeli wyznaczenia współczynnika pochłaniania określone-

go wyrażeniem 1 dokonujemy przez pomiar metodą fal stojących, to mówimy o fizycznym współczynniku pochłaniania, natomiast jeżeli obliczamy jego wartość na podstawie pomiaru metodą pogłosową, wówczas mówimy o pogłosowym współczynniku pochłaniania.

O wyborze metody pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku przeważnie decyduje ilość (powierzchnia) dostarczonego do badań akustycznych materiału. W wypadku wstępnych badań akustycznych materiałów wyznacza się fizyczny współczynnik pochłaniania ze względu na fakt, że do tej metody pomiaru próbki materiału są małe, mają kształt krążka, którego średnica wynosi 10 cm i 3 cm. Natomiast stosując metodę pogłosową, badana próbka materiału musi mieć powierzchnię pomiarową 10 m².

2. Charakterystyka badanych materiałów

Badania przeprowadzono dla materiałów-odpadów produkcyjnych, jak również struktur mieszanych składających się np. z wybranego materiału i cementu oraz dylatacji powietrznej. Przebadano akustycznie następujące materiały i struktury: 1. drewno-beton, 2. pianka poliuretanowa twarda, 3. drewno, zrębki drobne, cement, 4. zrębki drewniane drobne, 5. kora, 6. kora, cement, 7. styropian luźny, cement, 8. drewno, zrębki grube, cement, 9. zrębki drewniane grube, 10. włókna nieczesane, 11. włókna czesane. W niniejszym artykule autorzy prezentują wyniki badań akustycznych jedynie czterech materiałów, dla których uzyskano pozytywne wyniki dotyczące własności pochłaniających, a będą to: tworzywo sztuczne – włókna nieczesane, tworzywo sztuczne – włókna czesane, zrębki drewniane drobne, kora.

Próbki o nazwie „włókna czesane” i „włókna nieczesane” to materiał z tworzywa sztucznego w postaci cienkich włókien o różnej długości: od 10 do 30 cm i średnicy włókna 1 mm. Te dwie próbki różnią się między sobą tylko i wyłącznie ułożeniem włókien. Próbka „włókna nieczesane” uformowana jest z włókien ułożonych chaotycznie, przypadkowo. Natomiast w próbce materiału „włókna czesane” włókna są uporządkowane, ułożone równolegle obok siebie i zwinięte w krążek.

Próbka materiału o nazwie „zrębki drewniane drobne” to odpady wiórowe powstające podczas obróbki strugami elementów drewnianych. Grubość tych wiór nie przekracza 1 mm, a powierzchnia wiór waha się w granicach od 1 do 3 cm².

Kolejna próbka wykonana została z kawałków kory drzewnej, których wymiary były bardzo zróżnicowane. Największe kawałki kory miały grubość 5 mm, najmniejsze 1 mm. Powierzchnia tych kawałków była także różnorodna: od 1 do 4 cm².

W tabeli 1 zestawiono dane dotyczące objętości i masy badanych materiałów. Dla porównania umieszczono w tej tablicy również dane wełny mineralnej – powszechnie stosowanego materiału pochłaniającego w zabezpieczeniach wibroakustycznych.

Ukształtowanie próbek z ww. materiałów w formie krążków o średnicach – odpowiednio – 10 cm i 3 cm z tego typu materiałów nastręczało pewnego problemu. W celu uzyskania próbek do tego typu badań akustycznych wyłożono gazą higieniczną pojemniki z blachy o wymaganych średnicach, kolejno nakładając do nich odpowiednią ilość materiału do badań, a następnie sklejkę gazą plastrem lekarskim, aby ukształtowana w ten sposób próbka materiału po wyjęciu z pojemnika zachowała swój kształt. Strukturę badanych materiałów pokazano na fot. 1–6.

Objętość i masa badanych materiałów

Rodzaj materiału	Objętość próbki [m ³]	Masa próbki [kg]	Masa objętościowa [kg/m ³]
Włókna nieczesane	0,00157	0,06	38,2
Włókna czesane	0,00377	0,12	31,8
Zrębki drewniane drobne	0,00157	0,04	25,5
Kora	0,00157	0,08	50,9
Wełna mineralna	0,00380	0,14	36,8



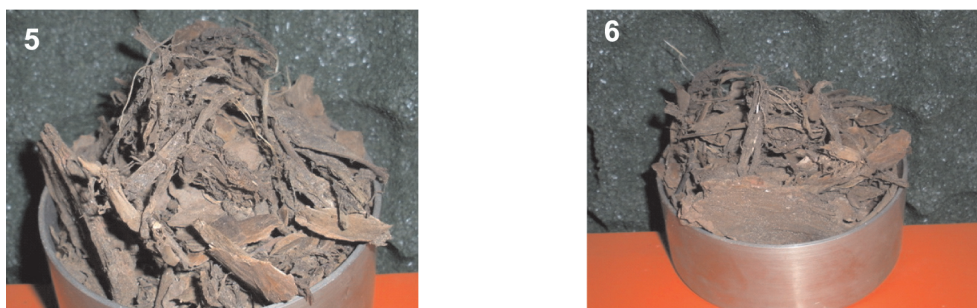
Fot. 1–2. Materiał włóknisty, z którego wykonano próbki do badań akustycznych o nazwie „włókna czesane” i „włókna nieczesane”

Photo 1–2. Fibrous material of which samples – named combed and not combed fibres – for acoustic tests were made



Fot. 3–4. Zrębki drewniane drobne

Photo 3–4. Fine wooden chips



Fot. 5–6. Kora w postaci wiór
Photo 5–6. Bark in a form shavings

3. Metodyka badań właściwości akustycznych materiałów

Pomiary akustyczne mające na celu określenie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania materiałów-odpadów produkcyjnych przeprowadzono, wykorzystując metodę fali stojącej. Zestaw badawczy składał się z rury impedancyjnej, sondy mikrofonowej, urządzenia do przesuwania i pozycjonowania sondy mikrofonowej, aparatury przetwarzającej sygnał mikrofonowy, głośnika, generatora oraz pochłaniającego zakończenia rury impedancyjnej.

Użyta do pomiarów rura impedancyjna to rura Kundta typ 4002 firmy Bruel&Kjaer o przekroju kołowym. Zestaw ten zawiera dwie rury o średnicach wewnętrznych ϕ 100 mm i ϕ 30 mm. Rura wykonana jest ze stali o grubości ścianki $g = 2,5$ mm.

Sonda mikrofonowa w zestawie pomiarowym jest sondą rurkową wykonaną z mosiądzu, zamontowaną centralnie i podpartą w celu uniknięcia jej wygięcia.

Roboczy zakres pomiarowy w skali częstotliwościowej fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku jest określony przez długość i wymiar poprzeczny rury impedancyjnej. Najniższa częstotliwość odpowiada długości fali równej długości rury, zaś częstotliwość najwyższa odpowiada długości fali dwa razy większej od średnicy rury. Rura Kundta typ 4002 użyta do badań akustycznych jest przyrządem składającym się z dwóch rur o średnicach wewnętrznych ϕ 100 mm i ϕ 30 mm, co pozwalało wyznaczyć fizyczny współczynnik pochłaniania w zakresie częstotliwości od 100 Hz do 6,3 kHz. Badania akustyczne przeprowadzono w paśmie częstotliwości oktaowych.

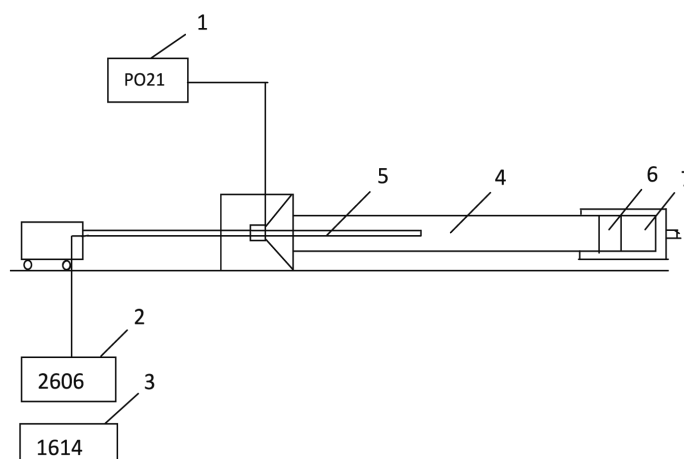
Do uzyskania fali stojącej w rurze impedancyjnej wykorzystano generator akustyczny PO-21 (sinusoidalne źródło dźwięku). Aby uniknąć możliwości powstawania w czasie pomiarów niepożądanych zniekształceń nieliniowych w głośniku, wskutek których mogą w rurze powstać fale stojące dla wszystkich składowych tych zniekształceń (zmniejszając tym samym dokładność pomiaru), zastosowano na wyjściu mikrofonu układ filtrów tercjo-oktaowych firmy B&K typ 1614, który dostraja się kolejno do odpowiednich częstotliwości generatora akustycznego.

Badane próbki umieszczane były w pojemniku na próbki, który jest oddzielną jednostką rury Kundta typ 4002. Do badanych próbek ściśle przylegał krążek uszczelniający, a tylna płyta pojemnika na próbki ściśle przylegała do rury. Odległość płaszczyzny odniesienia od powierzchni badanej próbki wynosiła zero.

Ponieważ tłumienie fali bezpośredniej i odbitej, które zależy w pewnym stopniu od tarcia cząstek powietrza o ścianki rury, rośnie wraz z odległością od badanej próbki, pomiary ciśnień akustycznych w strzałkach i węzłach fali stojącej przeprowadzono jak najbliżej badanego materiału. Na podstawie pomiarów ciśnień akustycznych w strzałce ($p_{\max}$) i węźle ($p_{\min.}$) fali stojącej, które są proporcjonalne do wartości napięć odczytywanych na wzmacniaczu pomiarowym B&K typ 2606, wyznaczono fizyczny współczynnik pochłaniania na podstawie zależności

$$\alpha_{\text{fiz}} = 1 - \left[\frac{p_{\max} - p_{\min.}}{p_{\max} + p_{\min.}} \right]^2$$

System pomiarowy wykorzystany do wyznaczenia wartości fizycznego współczynnika pochłaniania materiałów pokazano na rys. 7.



- 1 – generator akustyczny PO-21
- 2 – wzmacniacz pomiarowy BiK 2606
- 3 – układ filtrów pasmowych BiK 1614
- 4 – rura Kundta 4002
- 5 – sonda mikrofonowa
- 6 – badany materiał
- 7 – krążek uszczelniający

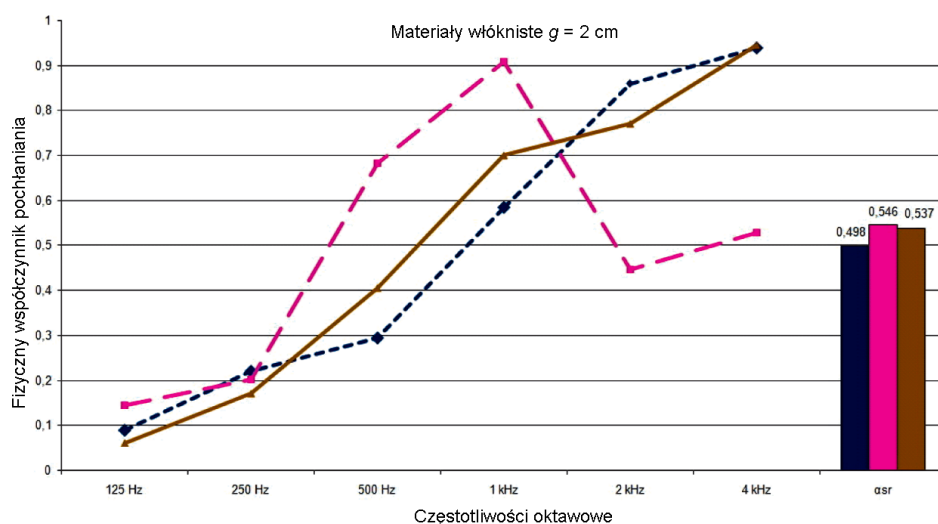
Rys. 1. Tor pomiarowy do wyznaczenia fizycznego współczynnika pochłaniania

Fig. 1. Measuring path for the determination of the sound absorption coefficient

4. Wyniki badań doświadczalnych

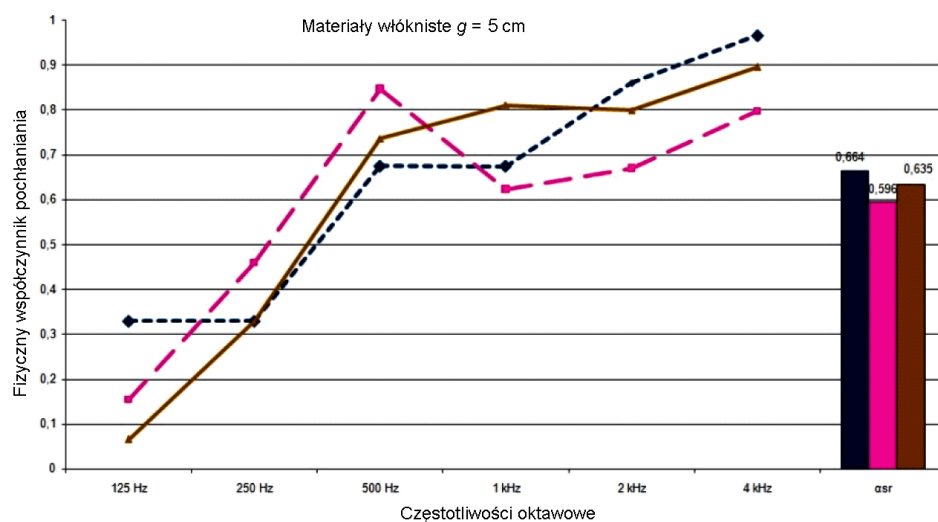
Badania akustyczne mające na celu określenie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania materiałów-odpadów zostały przeprowadzone w paśmie częstotliwości oktaowych (jako badania wstępne). Wyniki tych badań zostały opracowane w postaci wykresów (rys. 2–8) i zbiorczego zestawienia tabelarycznego (tab. 2). Dla porównania uzyskanych

wyników badania własności dźwiękochłonnych wybranych materiałów-odpadów zarówno na wykresach, jak i w tab. 2 zamieszczono również wartości fizycznego współczynnika pochłaniania wełny mineralnej.



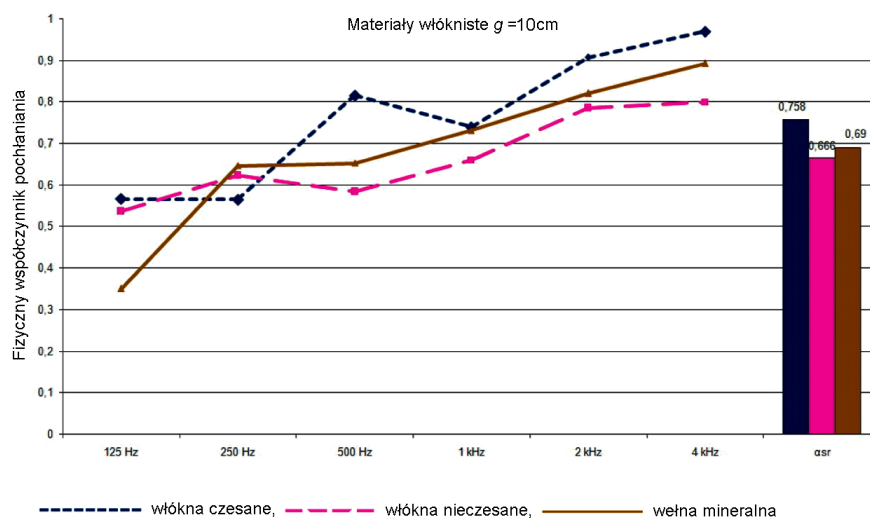
Rys. 2. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek-materiałów włóknistych o grubości 2 cm

Fig. 2. Characteristics of sound absorption samples-fibrous materials of a layer thickness 2 cm



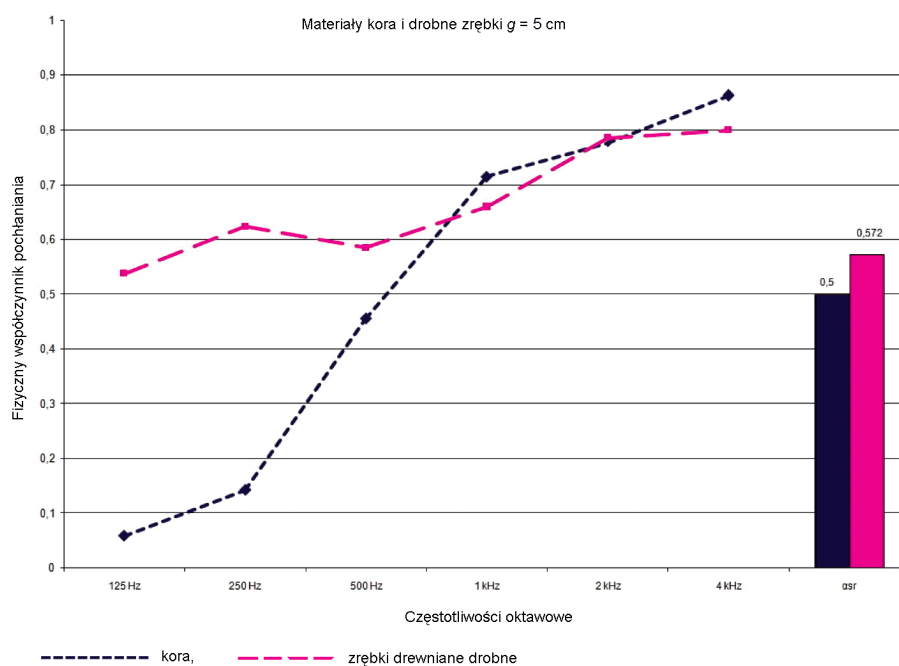
Rys. 3. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek-materiałów włóknistych o grubości 5 cm

Fig. 3. Characteristics of sound absorption samples – fibrous materials of a layer thickness 5 cm



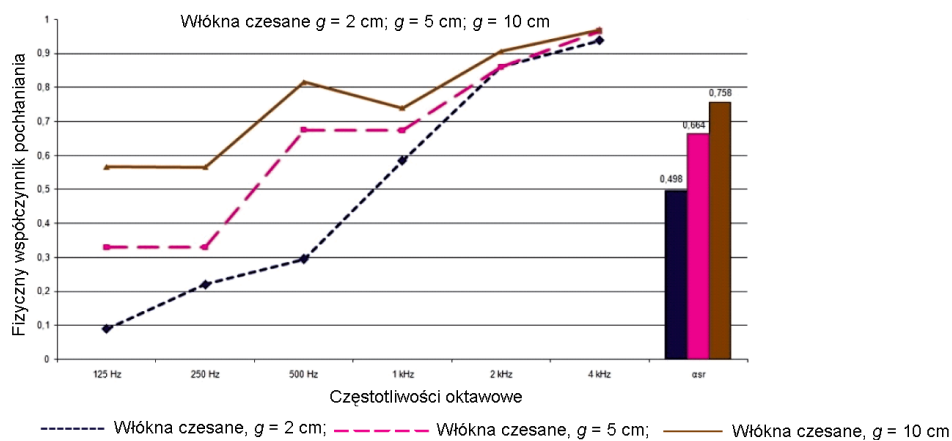
Rys. 4. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek-materiałów włóknistych o grubości 10 cm

Fig. 4. Characteristics of sound absorption samples- fibrous materials of a layer thickness 10 cm



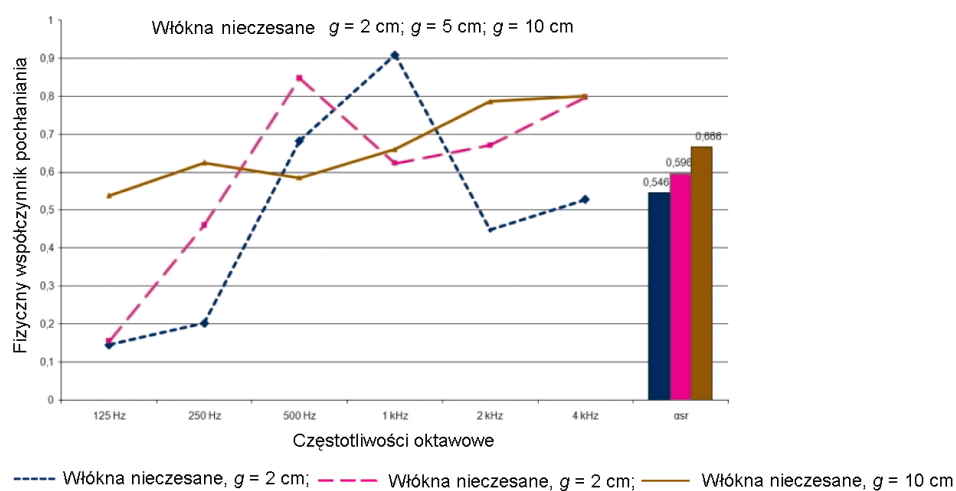
Rys. 5. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek: zrębki drewniane drobne, kora o grubości 5 cm

Fig. 5. Characteristics of sound absorption samples: fine wooden chip, bark of a layer thickness 5 cm



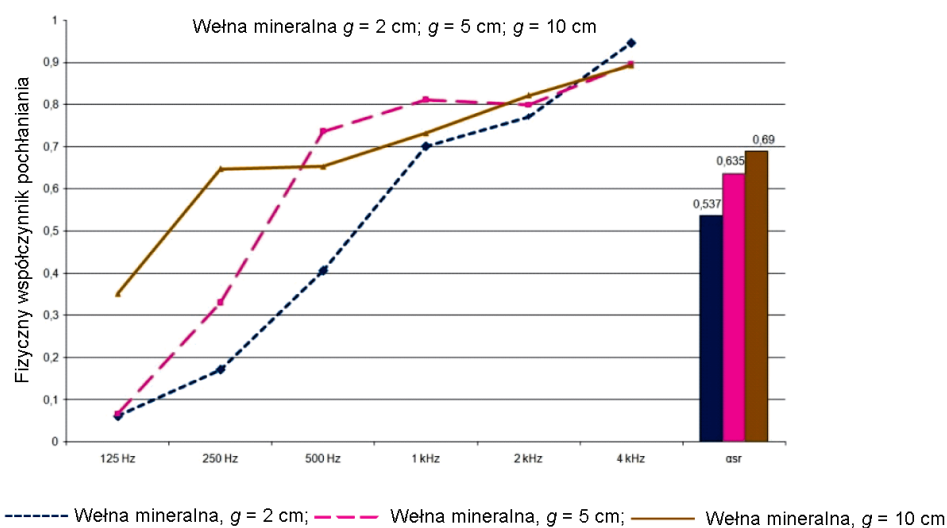
Rys. 6. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek włókna czesane o różnych grubościach

Fig. 6. Characteristics of sound absorption samples combed fibres of a different layer thickness



Rys. 7. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek włókna nieczesane o różnych grubościach

Fig. 7. Characteristics of sound absorption samples not combed fibres of a different layer thickness



Rys. 8. Charakterystyki pochłaniania dźwięku próbek z wełny mineralnej o różnych grubościach

Fig. 8. Characteristics of sound absorption samples of rock wool of a different layer thickness

Tabela 2

Zestawienie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku wybranych materiałów – odpadów produkcyjnych i wełny mineralnej

Lp.	Rodzaj materiału	Grubość warstwy [mm]	Współczynnik pochłaniania dźwięku α_f						
			Częstotliwość [Hz]						Wartość średnia
			125	250	500	1000	2000	4000	
1	Włókna nieczesane	20	0,145	0,202	0,682	0,908	0,447	0,528	0,546
2	Włókna nieczesane	50	0,155	0,460	0,847	0,623	0,670	0,797	0,596
3	Włókna nieczesane	100	0,538	0,624	0,585	0,660	0,786	0,800	0,666
4	Włókna czesane	20	0,090	0,221	0,295	0,585	0,860	0,939	0,498
5	Włókna czesane	50	0,330	0,330	0,675	0,674	0,860	0,966	0,644
6	Włókna czesane	100	0,567	0,566	0,816	0,740	0,907	0,970	0,758
7	Zrębki drewniane drobne	50	0,192	0,241	0,534	0,799	0,796	0,870	0,572
8	Kora	50	0,059	0,143	0,456	0,715	0,766	0,863	0,500
9	Wełna mineralna	20	0,061	0,171	0,406	0,701	0,771	0,946	0,537
10	Wełna mineralna	50	0,234	0,489	0,772	0,726	0,645	0,860	0,620
11	Wełna mineralna	100	0,351	0,647	0,653	0,732	0,821	0,893	0,682

Na rysunkach 2–4 przedstawiono, jak kształtują się charakterystyki pochłaniania dźwięku materiałów włóknistych (włókna czesane i nieczesane) kolejno dla trzech grubości próbek: 20, 50 i 100 mm. Na rysunku 5 pokazano charakterystykę pochłaniania dźwięku badanych materiałów o strukturze wiór (zrębki drewniane i kora). Dla porównania uzyskanych wyników z badań akustycznych na rys. 2–5 zamieszczono również charakterystykę pochłaniania wełny mineralnej. Na rysunkach 6–8 zestawiono kolejno charakterystyki pochłaniania dźwięku materiałów: włókna czesane, włókna nieczesane oraz wełna mineralna – na każdym rysunku są trzy charakterystyki danego materiału odpowiednio dla grubości próbek: 20, 50 i 100 mm. Wszystkie podane charakterystyki dotyczą fizycznego współczynnika pochłaniania.

W tabeli 2 przedstawiono wartości fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku w częstotliwościach oktaowych oraz jego średnie wartości przebadanych materiałów-odpadów produkcyjnych, jak również wełny mineralnej.

5. Wnioski

Wyniki uzyskane w trakcie przeprowadzonych badań laboratoryjnych materiałów włóknistych i materiałów o strukturze wiór, będących odpadami produkcyjnymi, pozwalają na sformułowanie następujących wniosków ogólnych:

- badane materiały włókniste (włókna czesane i nieczesane) oraz materiały o strukturze wiór (zrębki drewniane drobne i kora) można zaliczyć do materiałów charakteryzujących się własnościami dźwiękochłonnymi,
- najlepsze własności pochłaniające spośród badanych materiałów ma materiał włókna czesane. Średnia wartość fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku tego materiału jest tylko minimalnie mniejsza od wartości dla wełny mineralnej – dla grubości próbek 20 i 50 mm. W wypadku próbek o grubości 100 mm wyższą wartość średniego współczynnika pochłaniania ma materiał włókna czesane w stosunku do wełny mineralnej,
- badane materiały włókniste wykazują dobre własności pochłaniające w zakresie częstotliwości niskich,
- materiały o strukturze wiór w niskich częstotliwościach mają niższe parametry pochłaniania dźwięku w stosunku do materiałów włóknistych, ale w częstotliwościach średnich i wysokich wartość współczynnika pochłaniania dla obu typów materiałów jest porównywalna,
- kora, która ma dwukrotnie większą masę objętościową niż pozostałe badane materiały, ma najniższy współczynnik pochłaniania dźwięku; prawdopodobnie związane jest to ze strukturą badanej próbki (duże i dość grube kawałki),
- wszystkie badane akustycznie materiały charakteryzują się wyraźnym wzrostem wartości współczynnika pochłaniania zarówno wraz ze wzrostem częstotliwości, jak i wraz ze zwiększeniem grubości próbki. Wyjątkiem jest próbka włókna nieczesane o grubości 20 mm, która w wysokich częstotliwościach (2000 i 4000 Hz) wykazuje obniżenie własności pochłaniających. Prawdopodobnie przyczyną jest jej niejednorodność, włókna w tej próbce są ułożone przypadkowo, chaotycznie,
- charakterystyki badanych materiałów włóknistych i materiałów o strukturze wiór są podobne do klasycznego materiału dźwiękochłonnego – wełny mineralnej.

Uzyskane wyniki z przeprowadzonych badań akustycznych materiałów-odpadów produkcyjnych oraz struktur wykonanych na bazie tych materiałów pokazały, że część przebadanych materiałów i struktur nie ma własności pochłaniających dźwięk. Jedynie dla czterech materiałów uzyskano zadowalające wyniki z punktu widzenia zastosowań w konstrukcjach zabezpieczeń przeciwhałasowych. Średnie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku tych materiałów są większe od wartości 0,4, a więc materiały te mogą być zaliczone do grupy materiałów mających własności dźwiękochłonne, a tym samym mogą być stosowane w zabezpieczeniach przeciwhałasowych.

Artykuł został opracowany w ramach badań statutowych Katedry Mechaniki i Wibroakustyki AGH w latach 2006–2009, zadanie badawcze nr 3: „Metody pomiaru i redukcji zagrożeń wibroakustycznych”.

Literatura

- [1] Engel Z., *Ochrona środowiska przed hałasem i wibracjami*, PWN, Warszawa 2001.
- [2] Ingard K.U., *Notes on sound absorption technology*, Noise Control Foundation, Poughkeepsie, New York 1994.
- [3] Instructions and Applications: Standing Wave Apparatus type 4002, Bruel and Kjaer, 1970.
- [4] PN-ISO 10534-1:2001 Akustyka. Określanie współczynnika pochłaniania dźwięku i impedancji akustycznej w rurach impedancyjnych. Metoda wykorzystująca współczynnik fal stojących.
- [5] Sikora J., *Badania współczynnika pochłaniania dźwięku materiałów ziarnistych*, Czasopismo Techniczne z. 1-M/2007, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.
- [6] Turkiewicz J., Sikora J., *Badania izolacyjności akustycznej struktur warstwowych z okładzinami typu „plaster miodu”*, Czasopismo Techniczne z. 11-M/2006, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.
- [7] Turkiewicz J., *Własności dźwiękochłonne struktur warstwowych z materiałem typu „plaster miodu”*, Czasopismo Techniczne z. 1-M/2007, Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2007.