CZASOPISMO TECHNICZNE M
WYDAWNICTWO POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

z. 1-M/2007
ISSN 0011-4561
ISSN 1897-6328

JADWIGA TURKIEWICZ*

WŁASNOŚCI DŹWIĘKOCHŁONNE STRUKTUR WARSTWOWYCH Z MATERIAŁEM TYPU „PLASTER MIODU”

SOUND ABSORBING PROPERTIES OF LAYERED STRUCTURES WITH MATERIAL OF A "HONEYCOMB" TYPE

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań akustycznych pod kątem określenia właściwości dźwiękochłonnych struktur warstwowych, w skład których wchodziły materiał typu „plaster miodu” i wybrane materiały dźwiękochłonne. Badania miały na celu określenie wpływu materiału typu „plaster miodu” na wartość fizycznego współczynnika pochłaniania struktur warstwowych złożonych z materiałów szeroko stosowanych w zabezpieczeniach przeciwhałasowych ograniczających emisję hałasu w halach produkcyjnych i w środowisku zewnętrznym.

Słowa kluczowe: *akustyka*, *współczynnik pochłaniania dźwięku*, *ochrona przed hałasem*, *zwalczanie hałasu*

Abstract

The results of acoustic investigations performed in order to determine sound absorbing properties of layered structures containing material of a "honeycomb" type and selected sound absorbing materials – are presented in the paper. Estimations of the influence of a "honeycomb" type material on the value of the sound absorption coefficient of layered structures composed of materials widely used in noise protection devices – limiting noise emission in production halls as well as in natural environment – was the aim of the investigations.

Keywords: *acoustics*, *sound absorption coefficient*, *noise protection*, *noise control*

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

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1. Wstęp

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

Pierwszy rodzaj pochłaniania zachodzi przy rozchodzeniu 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.

Do technicznych metod ograniczania transmisji energii wibroakustycznej zalicza się metody bierne polegające na wprowadzeniu ograniczeń na drogach jej propagacji od źródła hałasu do odbiorcy. Do tej grupy metod zaliczamy m.in.: przegrody budowlane, ekrany akustyczne, obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne, tłumiki.

W projektowaniu rozwiązań konstrukcyjnych ustrojów dźwiękochłonno-izolacyjnych zasadnicze znaczenie ma dobór materiałów dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych z punktu widzenia ich właściwości akustycznych.

Stosowane materiały dźwiękochłonne w zabezpieczeniach akustycznych muszą spełniać wiele wymagań dotyczących niezawodności i trwałości układu, a przede wszystkim muszą charakteryzować się dobrymi własnościami pochłaniającymi dźwięk oraz mieć postać i fakturę umożliwiające bezpośrednie zastosowanie w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych.

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]

$$\alpha = \frac{E_{\text{pochł}}}{E_c} \tag{1}$$

W praktyce można posługiwać się dwoma rodzajami współczynnika pochłaniania dźwięku: fizycznym i pogłosowym. Jeżeli obliczeń współczynnika pochłaniania określonego 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. W większości przypadków o wyborze metody pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku decyduje ilość (powierzchnia) dostarczonego do badań akustycznych materiału. W przypadku dużych kosztów produkcji danego materiału wyznacza się fizyczny współczynnik pochłaniania ze względu na fakt, że użyte do tej metody pomiaru próbki materiału są małe, mają kształt krążka, którego średnica wynosi 10 cm i 3 cm. Natomiast w przypadku wykorzystania metody pogłosowej badana próbka materiału musi mieć powierzchnię pomiarową 10 m^2.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Obecnie istnieje wiele rodzajów materiałów dźwiękochłonnych stosowanych w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych. Niemniej jednak w wielu ośrodkach naukowo-badawczych ciągle prowadzone są badania, których celem jest pozyskanie nowych materiałów o lepszych właściwościach akustycznych i jednocześnie dużej trwałości i odporności na czynniki chemiczne.

W Laboratorium Katedry Mechaniki i Wibroakustyki przeprowadzono badania akustyczne pod kątem określenia właściwości dźwiękochłonnych nowego materiału typu „plaster miodu" oraz struktur warstwowych, w skład których wchodziły materiał typu „plaster miodu" i wybrane materiały dźwiękochłonne. Wykonano również badania akustyczne z wykorzystaniem szczeliny powietrznej. Celem tych badań było określenie możliwości zastosowania samego materiału typu „plaster miodu" lub ustrojów warstwowych, w skład których wchodził materiał typu „plaster miodu", w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych, takich jak: obudowy dźwiękochłonno-izolacyjne, ekrany akustyczne komunikacyjne i przemysłowe oraz tłumiki hałasu.

2. Charakterystyka badanego materiału typu „plaster miodu"

O możliwości zakwalifikowania danego materiału do grupy materiałów dźwiękochłonnych decyduje wartość jego współczynnika pochłaniania. Materiał dźwiękochłonny powinien charakteryzować się współczynnikiem pochłaniania $\alpha > 0{,}4$ w dowolnym paśmie częstotliwości, co można uzyskać w przypadku materiałów charakteryzujących się zarówno dużą porowatością, jak i dużym współczynnikiem perforacji powierzchni.

Badany materiał typu „plaster miodu" (ten sam materiał został przebadany pod kątem izolacyjności akustycznej – zob. Czasopismo Techniczne 11-M/2006, [7]) to materiał stanowiący ścisłe połączenie ze sobą rurek (kanałów) wykonanych z tworzywa sztucznego o nazwie policarbonat. Materiał ten powstał w różnych wersjach, różniących się między sobą współczynnikiem perforacji (różna średnica rurek), zorientowaniem rurek (usytuowaniem względem powierzchni materiału) i grubością (ryc. 1).



Ryc. 1. Różne wersje materiału typu „plaster miodu"
Fig. 1. Different types of the "honeycomb" material

Biorąc pod uwagę zorientowanie rurek, materiał typu „plaster miodu" został wykonany w dwóch wersjach. Pierwsza ma kanały zorientowane ukośnie w stosunku do prostej prostopadłej do płaszczyzny płyty (kąt nachylenia 15°), w drugiej wersji oś kanałów pokrywa się z prostą prostopadłą do płaszczyzny płyty (kąt nachylenia 0°) (ryc. 2).

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Jeżeli chodzi o porowatość powierzchni, „plaster miodu” został wykonany w dwóch wersjach. W pierwszej wersji płyty współczynnik perforacji wynosi 84%, natomiast w drugiej 92% (ryc. 3). Fakt ten wstępnie rokował, że materiał o tak dużym współczynniku perforacji może mieć dobre własności pochłaniające, dlatego też zostały przeprowadzone badania akustyczne mające na celu określenie wartości jego współczynnika pochłaniania.



Ryc. 2. „Plaster miodu” o kanałach zorientowanych prosto i ukośnie względem powierzchni materiału
Fig. 2. "Honeycomb" with straight and skew oriented channels



Ryc. 3. „Plaster miodu” o porowatości 92% i 84%
Fig. 3. "Honeycomb" with a porosity equal to 92% and 84%

Uwzględniając powyżej omówione różnice poszczególnych próbek materiałowych typu „plaster miodu”, można powiedzieć, że „plaster miodu” został wykonany w następujących wersjach:

1) średnica rurek 3,8 mm, kąt nachylenia 0°, współczynnik perforacji 84%,
2) średnica rurek 3,8 mm, kąt nachylenia 15°, współczynnik perforacji 84%,
3) średnica rurek 5 mm, kąt nachylenia 0°, współczynnik perforacji 92%,
4) średnica rurek 5 mm, kąt nachylenia 15°, współczynnik perforacji 92%.

Każda z tych wersji materiału typu „plaster miodu” wykonana była w dwóch wymiarach grubości warstwy, mianowicie 28 mm i 32 mm, a niektóre wybrane wersje – również o grubości warstwy 20 mm i 25 mm.

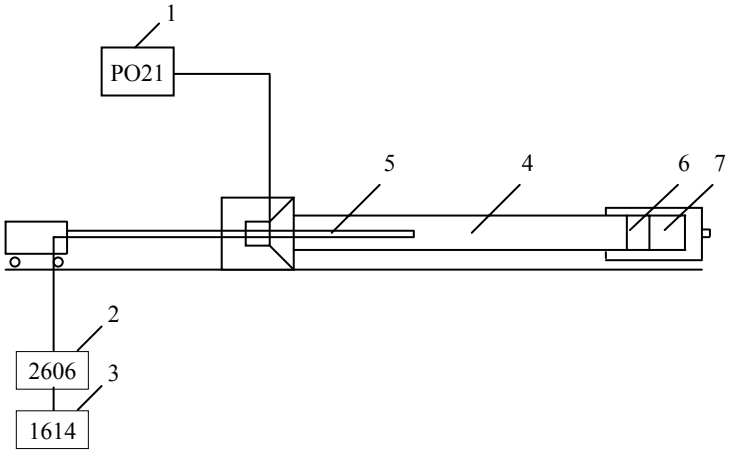
Według informacji pochodzących od zleceniodawcy „plaster miodu” jest materiałem niepalnym o dużej odporności na czynniki atmosferyczne.

3. Metodyka badań właściwości akustycznych materiału typu „plaster miodu”

W celu określenia właściwości dźwiękochłonnych samego materiału typu „plaster miodu” oraz struktur warstwowych, w skład których wchodził ten materiał, wyznaczano wartość fizycznego współczynnika pochłaniania.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Do pomiarów użyto specjalnego przyrządu, jakim jest rura Kundta służąca do wyznaczania fizycznego współczynnika pochłaniania małych próbek materiałowych. Badania przeprowadzono zgodnie z torem pomiarowym pokazanym na ryc. 4.



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

Ryc. 4. Tor pomiarowy do wyznaczania fizycznego współczynnika pochłaniania
Fig. 4. Measuring path for the determination of the sound absorption coefficient

Zakres pomiarowy w skali częstotliwościowej fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku jest ograniczony wymiarami rury. Najniższa częstotliwość odpowiada długości fali równej długości rury, zaś częstotliwość najwyższa odpowiada długości fali dwa razy większej niż średnica rury. Rura Kundta typ 4002 użyta do badań akustycznych materiału typu „plaster miodu" jest przyrządem składającym się z dwóch rur o średnicach wewnętrznych ϕ100 mm i ϕ30 mm, co pozwalało wyznaczyć fizyczny współczynnik pochłaniania w zakresie częstotliwości od 100 Hz do 6,3 kHz. Wraz z zastosowaniem generatora akustycznego PO-21 (sinusoidalne źródło dźwięku) w rurze powstaje fala stojąca. Zakładając, że w rurze nie ma dużego tłumienia fal dźwiękowych, na podstawie pomiarów ciśnień akustycznych w strzałce (p_{max}) i węźle (p_{min}) fali stojącej wyznaczono fizyczny współczynnik pochłaniania na podstawie zależności

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

Ciśnienie akustyczne w strzałkach i węzłach jest proporcjonalne do wartości napięć odczytywanych na wzmacniaczu akustycznym.

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,

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

pomiary ciśnień akustycznych w strzałkach i węzłach fali stojącej przeprowadzono jak najbliżej badanego materiału. Aby uniknąć możliwości powstawania w czasie pomiarów niepożądanych zniekształceń nieliniowych w głośniku, na skutek których mogą w rurze powstać fale stojące dla wszystkich składowych tych zniekształceń (zmniejszając tym samym dokładność pomiaru), zastosowano na wyjściu mikrofonu układ filtrów tercjowo-oktawowych, który dostraja się kolejno do odpowiednich częstotliwości generatora akustycznego.

W rezultacie wykonano badania akustyczne dla 11 różnych wersji samego materiału typu „plaster miodu", ustalając dla nich wartość fizycznego współczynnika pochłaniania dźwięku. Następnie dla każdego typu materiału „plaster miodu" wyznaczano wartości współczynnika pochłaniania z wykorzystaniem dylatacji powietrznej. Szerokość szczeliny powietrznej wynosiła 20 mm i 35 mm. Kolejne badania akustyczne zostały przeprowadzone dla ustrojów warstwowych, w skład których wchodziły następujące materiały:

1) materiał typu „plaster miodu" (każda wersja), materiał dźwiękochłonny (Vetroflex, pianka polieterowa, wełna mineralna),
2) materiał typu „plaster miodu" (każda wersja), materiał dźwiękochłonny (Vetroflex, pianka polieterowa, wełna mineralna), szczelina powietrzna.

Materiał dźwiękochłonny – Vetroflex, jest wełną mineralną typu PBR o masie objętościowej 50 kg/m^3, wyprodukowaną w Szwajcarii. Użyta do badań pianka polieterowa (gąbka) typu T-25 o masie objętościowej 30 kg/m^3 została wyprodukowana w Polsce. Do badań wykorzystano również wełnę mineralną TS-60 produkcji polskiej o masie objętościowej 60 kg/m^3.

W badanych układach warstwowych każdy materiał dźwiękochłonny był zastosowany w dwóch wymiarach grubości, mianowicie 35 mm i 80 mm. Szczelina powietrzna wykorzystana w badaniach układów warstwowych miała szerokość o dwóch wymiarach: 10 i 30 mm.

Łącznie przebadano 72 próbki składające się z samej warstwy materiału typu „plaster miodu" oraz jego połączenia w różnych konfiguracjach ze szczelinami powietrznymi oraz dodatkowymi wybranymi warstwami materiałów dźwiękochłonnych.

Dla każdego rodzaju materiału typu „plaster miodu" oraz każdej struktury warstwowej, w skład której wchodził „plaster miodu", wykonano pomiary zarówno w częstotliwościach tercjowych, jak i oktawowych.

4. Wyniki badań

Badania akustyczne materiału typu „plaster miodu" i struktur warstwowych przeprowadzono w Laboratorium Materiałów Dźwiękochłonnych Katedry Mechaniki i Wibroakustyki. W sumie wykonano 144 serie pomiarowe. Wyniki zostały przedstawione na kartach katalogowo-informacyjnych. Opracowane zostały i w formie tabelarycznej, i w postaci wykresów. Ze względu na przeprowadzenie badań akustycznych zarówno w paśmie częstotliwości tercjowych, jak i oktawowych otrzymano bardzo dużą ilość wyników. W związku z tym w tablicach zamieszczonych w niniejszym artykule podano tylko przykładowe uzyskane wyniki wartości fizycznego współczynnika pochłaniania w paśmie częstotliwości oktawowych dla danej struktury warstwowej.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

W tablicy 1 zamieszczono wartości fizycznego współczynnika w częstotliwościach oktawowych dla struktur warstwowych; w każdej strukturze materiał „plaster miodu" ma tę samą grubość g = 28 mm, ale różną perforację i różny kąt nachylenia rurek.

Tablica 1

Zestawienie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania struktur warstwowych: „plaster miodu" g = 28 mm i warstwa dźwiękochłonna g = 35 mm w pasmach częstotliwości oktawowych

Rodzaj badanej struktury warstwowej		125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	$\alpha_{śr}$
1	ϕ = 3,8 mm, kąt 0°; Vetroflex	0,148	0,279	0,575	0,803	0,949	0,9	0,609
2	ϕ = 3,8 mm, kąt 0°, pianka polieterowa	0,126	0,205	0,334	0,545	0,844	0,922	0.496
3	ϕ = 3,8 mm, kąt 0°, wełna mineralna	0,081	0,170	0,358	0,687	0,833	0,917	0,508
4	ϕ = 3,8 mm, kąt 15°, Vetroflex	0,153	0,303	0,651	0,881	0,994	0,981	0,660
5	ϕ = 3,8 mm, kąt 15°, pianka polieterowa	0,113	0,194	0,345	0,638	0,784	0,935	0,501
6	ϕ = 3,8 mm, kąt 15°, wełna mineralna	0,073	0,166	0,425	0,784	0,954	0,981	0,564
7	ϕ = 5 mm, kąt 0°, Vetroflex	0,145	0,279	0,609	0,783	0,947	0,946	0,618
8	ϕ = 5 mm, kąt 0°, pianka polieterowa	0,110	0,191	0,323	0,597	0,884	0,934	0,507
9	ϕ = 5 mm, kąt 0°, wełna mineralna	0,083	0,173	0,403	0,702	0,861	0,905	0,521
10	ϕ = 5 mm, kąt 15°, Vetroflex	0,137	0,279	0,673	0,838	0,974	0,969	0,645
11	ϕ = 5 mm, kąt 15°, pianka polieterowa	0,105	0,188	0,327	0,597	0,826	0,919	0,494
12	ϕ = 5 mm, kąt 15°, wełna mineralna	0,104	0,195	0,424	0,755	0,923	0,985	0,564

W tablicy 2 przedstawiono natomiast wartości fizycznego współczynnika pochłaniania w częstotliwościach oktawowych dla struktur warstwowych, w których materiał „plaster miodu" ma grubość g = 32 mm, ale również różną perforację i różny kąt nachylenia rurek.

W tablicy 3 pokazano wartości fizycznego współczynnika pochłaniania struktur warstwowych, w których materiał „plaster miodu" ma grubość g = 32 mm, taką samą perforację i kąt nachylenia rurek, a materiał dodatkowy pochłaniający ma grubość g = 80 mm.

BPK BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Tablica 2

Zestawienie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania struktur warstwowych: „plaster miodu" *g* = 32 mm i warstwa dźwiękochłonna *g* = 35 mm w pasmach częstotliwości oktawowych

Rodzaj badanej struktury warstwowej		125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	$\alpha_{śr}$
1	ϕ = 3,8 mm, kąt 0°, Vetroflex	0,151	0,300	0,490	0,790	0,947	0,951	0,606
2	ϕ = 3,8 mm, kąt 0°, pianka polieterowa	0,114	0,200	0,293	0,547	0,878	0,952	0,497
3	ϕ = 3,8 mm, kąt 0°, wełna mineralna	0,102	0,221	0,491	0,725	0,869	0,809	0,536
4	ϕ = 3,8 mm, kąt 15°, Vetroflex	0,121	0,291	0,527	0,875	0,988	0,891	0,616
5	ϕ =3,8 mm, kąt 15°, pianka polieterowa	0,116	0,216	0,324	0,687	0,812	0,965	0,520
6	ϕ = 3,8mm, kąt 15°, wełna mineralna	0,089	0,211	0,513	0,812	0,946	0,941	0,585
7	ϕ = 5 mm, kąt 0°, Vetroflex	0,127	0,284	0,459	0,782	0,927	0,925	0,584
8	ϕ = 5 mm, kąt 0°, pianka polieterowa	0,112	0,197	0,285	0,533	0,811	0,963	0,484
9	ϕ = 5 mm, kąt 0°, wełna mineralna	0,089	0,204	0,486	0,723	0,818	0,900	0,537
10	ϕ = 5 mm, kąt 15°, Vetroflex	0,173	0,322	0,481	0,850	0,986	0,973	0,631
11	ϕ = 5 mm, kąt 15°, pianka polieterowa	0,132	0,207	0,306	0,603	0,839	0,957	0,507
12	ϕ = 5 mm, kąt 15°, wełna mineralna	0,143	0,245	0,494	0,784	0,942	0,983	0,598

Tablica 3

Zestawienie wartości fizycznego współczynnika pochłaniania struktur warstwowych: „plaster miodu" *g* = 32 mm i warstwa dźwiękochłonna *g* = 80 mm w pasmach częstotliwości oktawowych

Rodzaj badanej struktury warstwowej		125 [Hz]	250 [Hz]	500 [Hz]	1 [kHz]	2 [kHz]	4 [kHz]	$\alpha_{śr}$
1	ϕ = 5 mm, kąt 15°, Vetroflex	0,387	0,627	0,725	0,806	0,954	0,970	0,745
2	ϕ = 5 mm, kąt 15°, pianka polieterowa	0,201	0,566	0,918	0,947	0,983	0989	0,767
3	ϕ = 5 mm, kąt 15°, wełna mineralna	0,274	0,615	0,907	0,817	0,942	0,990	0,757

BPK BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

5. Wnioski

Wyniki uzyskane z przeprowadzonych badań laboratoryjnych materiałów w postaci struktur warstwowych, w skład których wchodził materiał typu „plaster miodu", pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

- badany materiał typu „plaster miodu" można zaliczyć do materiałów charakteryzujących się własnościami dźwiękochłonnymi,
- badania samego materiału typu „plaster miodu" lub w konfiguracjach warstwowych „plaster miodu"–materiał dźwiękochłonny wykazują, że:
  a) zmiana grubości materiału typu „plaster miodu" z 28 mm na 32 mm praktycznie nie wpływa na znaczący wzrost współczynnika pochłaniania układów warstwowych,
  b) układy warstwowe, w których materiał typu „plaster miodu" posiada kanały zorientowane ukośnie (pod kątem 15° w stosunku do prostej prostopadłej do płaszczyzny materiału) są znacznie lepsze z punktu widzenia własności dźwiękochłonnych od układów warstwowych, w których zastosowano materiał z kanałami prostymi (równoległymi do osi prostopadłej do płaszczyzny materiału),
  c) układy warstwowe z materiałem „plaster miodu" z kanałami o średnicy 3,8 mm wykazują lepsze własności akustyczne od układów, w których ten materiał ma kanały o średnicy 5 mm,
  d) zakres wyraźnego wzrostu wartości współczynnika pochłaniania zaznacza się w granicach od 2 kHz wzwyż,
- badania współczynnika pochłaniania dla warstw złożonych, składających się z materiału typu „plaster miodu" oraz zamiennie z warstwy Vetroflexu, pianki polieterowej T-25 lub wełny mineralnej TS-60, wykazały w zasadzie porównywalność wyników, choć w większości przypadków korzystniej wypadają warstwy złożone z Vetroflexem,
- układy złożone składające się z materiału typu „plaster miodu" o grubości 32 mm oraz zamiennie z warstwy Vetroflexu, pianki polieterowej T-25 lub wełny mineralnej o grubości 80 mm mają lepsze własności pochłaniające (wyższa wartość współczynnika pochłaniania) od układów, w których „plaster miodu" ma tę samą grubość 32 mm, a materiały zamienne mają grubość 35 mm,
- materiał typu „plaster miodu" może mieć zastosowanie jako warstwa materiału pochłaniającego dźwięk w konfiguracjach warstwowych,
- szczelina powietrzna o grubości 10 mm i 20 mm w badanych strukturach warstwowych we wszystkich przypadkach zwiększa właściwości dźwiękochłonne struktury. Zwiększenie grubości szczeliny powietrznej do 30 mm nie powoduje dalszego wzrostu współczynnika pochłaniania dźwięku badanych struktur,
- najbardziej efektywnie z punktu widzenia zabezpieczeń akustycznych można wykorzystać materiał typu „plaster miodu" w układzie warstwowym z innym materiałem pochłaniającym dźwięk, np. pianką. Spełnia on wówczas dwie funkcje jednocześnie: jako warstwa materiału pochłaniającego i równocześnie jako osłona drugiego materiału pochłaniającego. Nie ma wówczas potrzeby stosowania blachy perforowanej jako osłony. Materiał ten ma jeszcze jedną ważną zaletę – jako osłona jest dużo lżejszy od blachy perforowanej,
- materiał typu „plaster miodu" o porowatości 92% wykazuje lepsze własności pochłaniające niż materiał o porowatości 84%. Prawidłowość ta występuje również w układach warstwowych z innymi materiałami pochłaniającymi.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

Artykuł opracowany został 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] PN-EN ISO 10534-2:2003 Akustyka. Określanie współczynnika pochłaniania dźwięku i impedancji akustycznej w rurach impedancyjnych. Część 2: Metoda funkcji przejścia.
[6] Sikora J., Turkiewicz J., Piechowicz J., Wszołek T., Stryczniewicz L., *Wyniki badań własności dźwiękochłonnych i dźwiękoizolacyjnych płyty* „*waben*” *oraz analiza możliwości zastosowania w rozwiązaniach konstrukcyjnych zabezpieczeń przeciwhałasowych*, Kraków 1992.
[7] Turkiewicz J., Sikora J., *Badania izolacyjności akustycznej struktur warstwowych z okładzinami typu* „*plaster miodu*”, Czasopismo Techniczne z. 11-M/2006, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006.

BIBLIOTEKA CYFROWA POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ