



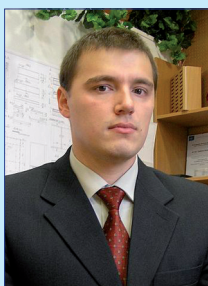
TADEUSZ KAMISIŃSKI

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
kamisins@agh.edu.pl



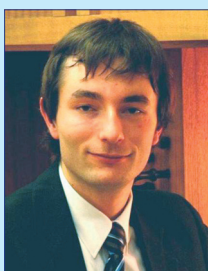
ARTUR FLACH

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
flach@agh.edu.pl



JAROSŁAW RUBACHA

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
rubacha@agh.edu.pl



ADAM PILCH

Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
pilch@agh.edu.pl

Ekran akustyczny z powierzchnią dyfuzyjną

Rozwój motoryzacji, drogownictwa oraz wymogi ochrony środowiska przed hałasem spowodowały, iż arterie komunikacyjne wymagają wyposażenia w ekrany akustyczne. Sposób doboru konstrukcji tych urządzeń wynika głównie z pełnionych funkcji, ale realizacja związana jest również z estetyką, kosztem, trwałością oraz możliwością recyklingu. Wymagane cechy akustyczne reprezentowane przez izolacyjność i chłonność akustyczną, określane są na podstawie pomiarów laboratoryjnych elementów ekranu. Natomiast nie jest uwzględniany istotny dla skuteczności ekranu współczynnik rozproszenia dźwięku. Na rysunku 1 pokazano schematycznie zasadność użycia dyfuzora na powierzchni ekranu akustycznego.

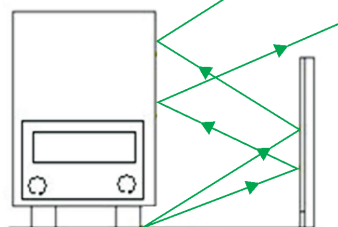
Działanie ekranu z płaską powierzchnią odbijającą (tab. 1a), może powodować przekazanie znacznej energii w kierunku obiektów chronionych, ograniczając tym samym skuteczność ekranu. Struktury intensywnie rozpraszające dźwięk (np. Schroedera tab. 1b) powodują zmniejszenie jego poziomu na kierunku odbicia. Urządzenia o dużej dźwiękochłonności najskuteczniej redukują poziom dźwięku odbitego (tab. 1c), ale zazwyczaj są drogie i nietrwałe. Dlatego też jest uzasadnione, aby do konstrukcji ekranów stosować materiały o powierzchniach silnie rozpraszających, odpornych na warunki atmosferyczne, ale wykazujących również pewną dźwiękochłonność.

Badanie rozproszenia dźwięku

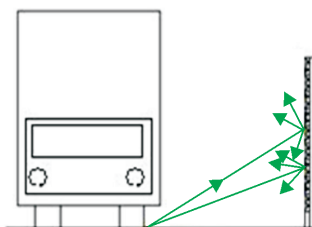
Za miarę rozproszenia przyjęto współczynnik rozproszenia dźwięku (scattering coefficient) „s” zdefiniowany w celu wydzielenia energii odbitej na kierunku zwierciadlanym, od energii odbitej na kierunkach różnych od zwierciadlanego.

Współczynnik s, używany jest obecnie obok współczynnika pochłaniania dźwięku we wszystkich liczących się programach komputerowych, służących do predykcji parametrów akustycznych wnętrz. Badania laboratoryjne dla określenia tej

Działanie zwykłego ekranu akustycznego



Działanie ekranu z powierzchnią dyfuzyjną



Rys. 1. Efekt zastosowania dyfuzora na powierzchni drogowego ekranu akustycznego

Tabela 1. Sposób odbicia dźwięku od trzech różnych powierzchni [1]: a) odbijającej, b) rozpraszającej, c) pochłaniającej

Rodzaj ustroju akustycznego	Przebieg czasowy odpowiedzi impulsowej
a) Powierzchnia refleksyjna	Dźwięk odbity 6 dB
b) Powierzchnia z rozpraszaczem Schroedera	10 msec Rozpraszanie
c) Powierzchnia dźwiękochłonna	Dźwięk bezpośredni Odbicie tłumione

wartości wykonuje się w komorze pogłosowej. Natomiast dla zaprojektowania rozpraszacza należy wykorzystać algorytm, który pozwoli na znalezienie sekwencji umożliwiającej działanie ustroju w stosunkowo szerokim paśmie częstotliwości. Przykładem może być rozpraszacz oparty o często wykorzystywaną sekwencję residuum kwadratowego, gdzie do wyznaczenia kolejnych wartości ciągu używa się algorytmu [1]:

$$s_n = n^2 \text{ modulo } N$$

gdzie: N – liczba pierwsza, n – liczba naturalna
np. dla N = 7 otrzymujemy sekwencję: 0, 1, 4, 2, 2, 4, 1, 0.

Na podstawie sekwencji obliczamy głębokości studzienek rozpraszacza z równania:

$$d_n = \frac{s_n \lambda_0}{2N}$$

gdzie:

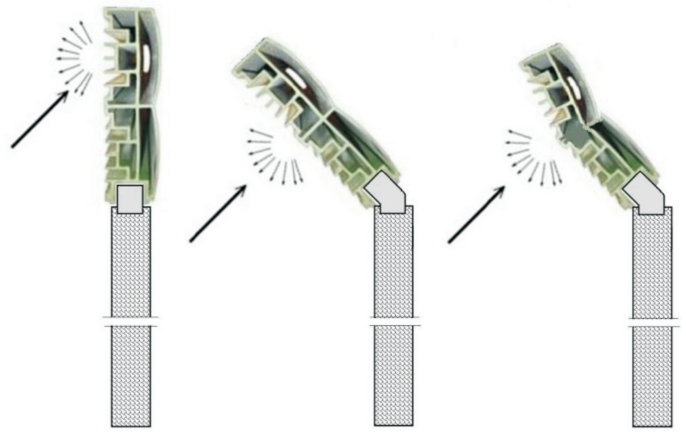
λ_0 – największa długość fali, którą ma rozpraszać projektowany dyfuzor

Szerokość wgłębienia jest stała dla każdej studzienki. Wyznacza się ją z równania:

$$w = \frac{\lambda_{\min}}{2}$$

gdzie:

λ_{\min} – najmniejsza długość fali, którą ma rozpraszać projektowany dyfuzor

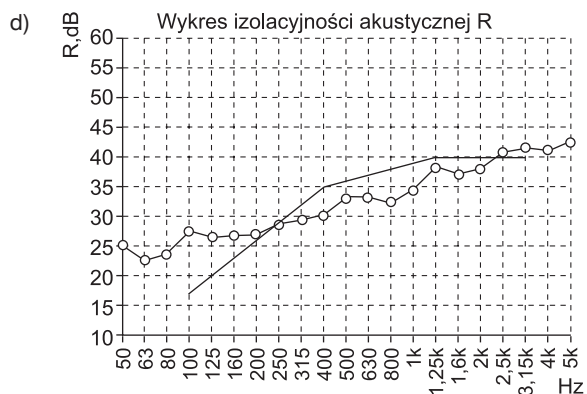
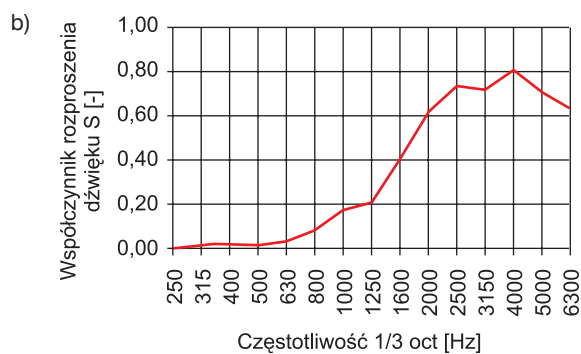
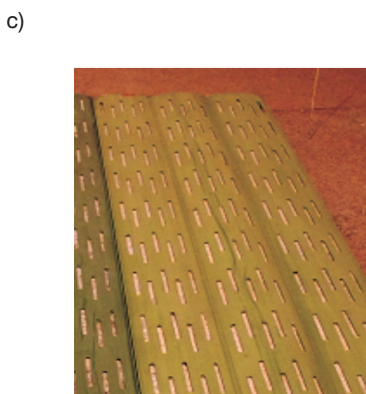


Rys. 3. Przykłady zastosowania panelu dyfuzyjnego jako elementu zwieńczenia ekranu akustycznego innego typu

Nowy panel dyfuzyjny

W ramach projektu celowego dofinansowanego przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości, Firma Moller-Polska Sp. z o.o. przy współpracy z Katedrą Mechaniki i Wibroakustyki Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie oraz Zakładem Obróbki Tworzyw Sztucznych Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, opracowała i wykonała prototyp panela przeznaczonego do budowy ekranów akustycznych. Panel o szerokości 60 cm i grubości 12 cm wykonano z kompozytu PCV z pyłem drzewnym w technologii wyciskania. Powierzchnię prezentowanego panelu zaprojektowano w taki sposób, aby uzyskać wysoki współczynnik rozproszenia dźwięku przy zachowaniu parametrów

mechanicznych umożliwiającą zastosowanie w typowych konstrukcjach drogowego ekranu akustycznego. Na rysunku 2a i c przedstawiono widok prototypu opracowanej struktury ekranu oraz przykład perforacji wypukłej powierzchni. Natomiast na rysunku 2b i d pokazano charakterystykę współczynnika rozproszenia dźwięku zmierzoną wg ISO 17497-1:2004 [2] oraz charakterystykę izolacyjności akustycznej. Wartości tych parametrów należą do grupy wysokich. Niezależnie od efektu rozproszenia dźwięku, ekran posiada chłonność akustyczną kształtowaną przez komory oraz system perforacji. Struktura jest dwustronna i może być wykorzystywana naprzemiennie, umożliwiając różne konfiguracje w konstrukcji ekranu.



Rys. 2. a) Widok prototypu opracowanej struktury ekranu, b) charakterystyka współczynnika rozproszenia dźwięku [3], c) przykład perforacji powierzchni, d) charakterystyka izolacyjności akustycznej

Panele mogą tworzyć samodzielnie ekran akustyczny lub być montowane na innym typie ekranach w postaci wstawek lub zwieńczeń (rys. 3). Szczególnie zwieńczenia wykonane z elementu dyfuzyjnego, zwiększają skuteczność ekranu, przez co pozwalają ograniczyć jego wysokość, a zarazem koszt inwestycji.

Potwierdzeniem badań laboratoryjnych i prac projektowych był pomiar ekranu zrealizowany w warunkach zbliżonych do rzeczywistych. Wyprodukowane panele wykorzystano do zbudowania doświadczalnego ekranu akustycznego o długości 10 m i całkowitej wysokości 4,50 m, w wersji z panelami o powierzchni naprzemiennie dyfuzyjnej i dźwiękochłonnej. Zastosowano też zwieńczenie rozpraszające pochylone

w kierunku źródła dźwięku. Badanie ekranu akustycznego „in situ” przeprowadzone na podstawie normy PN-ISO 10847:2002, wykazało w opisanej konfiguracji wartość parametru skuteczności równą 18,3 dB. Jest to wartość zaliczana do bardzo wysokich.

Podsumowanie

Przedstawiony nowy panel dyfuzyjny jest wynikiem postępującego procesu ulepszania konstrukcji ekranów akustycznych, który wymaga wykorzystania coraz bardziej zaawansowanych metod. Zastosowane struktury rozpraszające dźwięk powodują wydatne zmniejszenie jego poziomu na kierunku odbicia. Efekt ten nie jest obecnie w ekranach drogowych wykorzystywany w należyтым stopniu. Prezentowany panel ekranu akustycznego może skutecznie konkurować ze strukturami aktualnie montowanymi przy trasach komunikacyjnych. Wyróżnia go znaczna skuteczność, łatwość montażu, duża trwałość, możliwość recyklingu materiału, a parametry akustyczne mogą być kształtowane w zależności od projektowanej funkcji ekranu. Dlatego też jest uzasadnione, aby do konstrukcji ekranów akustycznych stosować materiały o po-

wierzchniach silnie rozpraszających, a parametr współczynnika rozpraszania dźwięku należy zamieszczać w danych katalogowych producenta.

Podstawowe parametry akustyczne prezentowanego panelu to:

- Skuteczność: 17–18,3 dB (PN-ISO 10847)
- Współczynnik rozproszenia dźwięku $s = 0,4–0,8$, (ISO 17497-1:2004)
- Jednolicebwy wskaźnik pochłaniania dźwięku $DL_{\alpha_w} = 4–10$, (PN-EN ISO 1793-3:2001)
- Jednolicebwy wskaźnik izolacyjności akustycznej $DL_R = 24–33$ dB, (PN-EN ISO 1793-2:2001)

Bibliografia

- [1] Cox J., D`Antonio P., *Acoustic Absorbers and Diffusers*. London; New York : Taylor & Francis, 2009
- [2] *ISO 17497-1:2004 Acoustics – Sound-scattering properties of surfaces – Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room*
- [3] Kamisiński T., Rubacha J., Pilch A., *The Study of Sound Scattering Structures for the Purposes of Room Acoustic Enhancement*. Acta Physica Polonica A, Vol. 118 (2010) ■



BERNARD RZECZYŃSKI
b.rzezynski@ue.poznan.pl

Inżynieria logistyczna ruchu miejskiego – kilka przesłanek do projektu paradygmatu

Początkowo pojęcie *inżynieria ruchu* odnosiło się tylko do ruchu na drogach i ulicach. Obecnie stosowane jest szerzej, w tym zwłaszcza w sferze telekomunikacji. Polska definicja sformułowana przez autora w 1961 r. [1]¹ brzmiała:

Inżynieria ruchu jest dziedziną budownictwa komunikacyjnego zajmującą się inżynierskim ukształtowaniem dróg i innych urządzeń komunikacyjnych z punktu widzenia wymagań ruchowych, stanowiąc przy tym jednocześnie część składową urbanistyki i planowania przestrzennego.

Przytacza się ponadto dwie inne definicje inżynierii ruchu, znane w literaturze:

- dziedzina nauki, która zajmuje się planowaniem i geometrycznym projektowaniem ulic, dróg i przylegającego do nich terenu oraz organizacją ruchu w celu stworzenia warunków do bezpiecznego, wygodnego i ekonomicznego transportu osób i towarów [2];

¹ A. Sambor podaje [16], że polską definicję inżynierii ruchu sformułowano po raz pierwszy na konferencji SITK w Spale w 1968 r., a następnie zaktualizowano na konferencji Komitetu Transportu PAN i SITK, która odbyła się we Wrocławiu w 1987 r. Informacja ta, wynika z braku zapoznawania się z istniejącą publikacją – w tym przypadku autora z 1961 r., o tytule wyraźnie zbieżnym (Inżynieria ruchu drogowego – z zawartą w niej jej definicją) z tematem elaboratu.

- dziedzina inżynierii, która dotyczy planowania i projektowania geometrycznego dróg, ulic i autostrad oraz operacji ruchu na nich; obejmuje ona ich sieci, terminale, przyległy teren oraz relacje z innymi sposobami transportu w celu bezpiecznego, sprawnego i wygodnego przemieszczania osób i dóbr [3].

Definicje te wymagają uzupełnienia jednoznaczną wykładnią występowania obszarów aktywności inżynierii ruchu, którymi są: decyzje zespołów (kompetentnych organów) mających do czynienia z powstawaniem nowych ulic, dróg i innych substancji transportowych oraz przyjmowanie odpowiedzialności za sprawne, wygodne i bezpieczne użytkowanie istniejących urządzeń transportowych [4].

Logistyka stanowi podstawowy instrument sprawnego zarządzania życiem współczesnego miasta, a w tym niezawodnego funkcjonowania jego infrastruktury technicznej i systemu transportu. Obejmuje ona zespół współzależnych i zharmonizowanych czynności organizujących przepływ strumieni ludzi (pieszych, kierujących pojazdami, pasażerów), ładunków, informacji oraz mediów energetycznych i innych, przy zastosowaniu właściwych technologii oraz uwzględnieniu kosztów społecznych, ekonomiki miasta i bezpieczeństwa ekologicznego.

Wszelkie przepływy tych strumieni odbywają się w czasie i przestrzeni. Czas jest zasobem nieodnawialnym, a prze-