

LABORATORYJNE POMIARY CHŁONNOŚCI AKUSTYCZNEJ DROGOWYCH URZĄDZEŃ PRZECIWAHAŁASOWYCH Z ZASTOSOWANIEM KRAWĘDZIOWEGO REDUKTORA DŹWIĘKU

Leszek DULAK^{*}, Michał MARCHACZ^{*}, Artur NOWOŚWIAT^{*},
Marcelina OLECHOWSKA^{*}, Rafał ŻUCHOWSKI^{*}

^{*} Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice,

e-mail: leszek.dulak@polsl.pl; michal.marchacz@polsl.pl
artur.nowoswiat@polsl.pl; marcelina.olechowska@polsl.pl rafal.zuchowski@polsl.pl

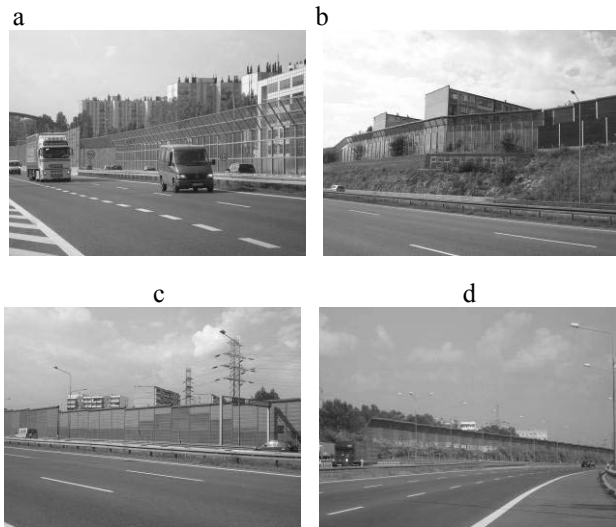
Słowa kluczowe: W artykule zaprezentowano badania wpływu krawędziowego reduktora dźwięku na właściwości pochłaniające urządzenia drogowe. Badania przeprowadzono dla dwóch próbek: ekran akustyczny prosty oraz ekran z zamontowanym na górnej krawędzi reduktorem dźwięku. Na podstawie badań wyznaczono jednolicebowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_{α} .

Słowa kluczowe: ekrany akustyczne, reduktor hałasu, właściwości pochłaniające elementów i materiałów budowlanych.

1. WPROWADZENIE

Ekran akustyczny usytuowany jako pionowa prostopadłościenna ściana, w danej konfiguracji źródło punktu odbioru, posiada określoną skuteczność, uzależnioną przede wszystkim od indywidualnych właściwości dźwiękoizolacyjnych i dźwiękochłonnych oraz geometrii danego urządzenia. W większości przypadków to właśnie geometria odgrywa główną rolę w procesie skutecznego ograniczania powstającego hałasu. Prosta regularna konstrukcja powoduje, iż na bocznych i górnej krawędzi następuje ugięcie fali dźwiękowej, co prowadzi do obniżenia skuteczności danego rozwiązania (rys.2). Taka sytuacja wymaga stosowania różnych kształtów ekranów akustycznych, których skuteczność może być wspomagana poprzez zastosowanie dodatkowych elementów umieszczonych na krawędziach ekranu (rys.1). Dążąc do zwiększenia skuteczności ekranów akustycznych poprzez wprowadzenie dodatkowych elementów jako jedni z pierwszych japońscy uczeni Fujiwara i Fututa [3] zaprojektowali cylindryczną krawędź wspomagającą absorpcję dźwięku. (rys. 3) [7] Zastosowane rozwiązanie dało podłoże do opracowania i wprowadzenia do zastosowań komercyj-

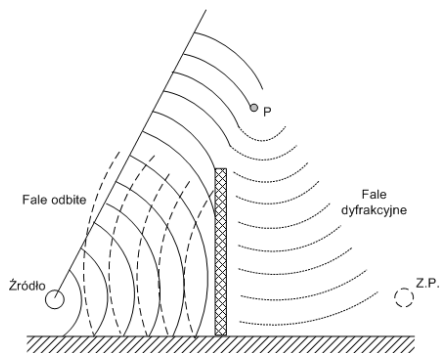
nych około 20 rodzajów urządzeń, zmieniających kształt górnej krawędzi ekranu. [4]



Rys.1. Przykłady zrealizowanych ekranów akustycznych: a) ekran załamany, b) prosty i załamany ekran zlokalizowany na skarpcie wykopu z krawędziowym reduktorem, c) ekran prosty przy krawędzi jezdni zbiorczej z dobudowanym reduktorem dźwięku, d) ekran załamany zlokalizowany na wale ziemnym z reduktorem na górnej krawędzi.

Fig.1. Examples of made acoustic screens: a) broken screen, b) simple and broken screen located on excavation escarpment with edge reducer, c) simple screen by the edge of the aggregate roadway with inbuilt noise reducer, d) broken screen located on the shaft with the reducer on the top edge.

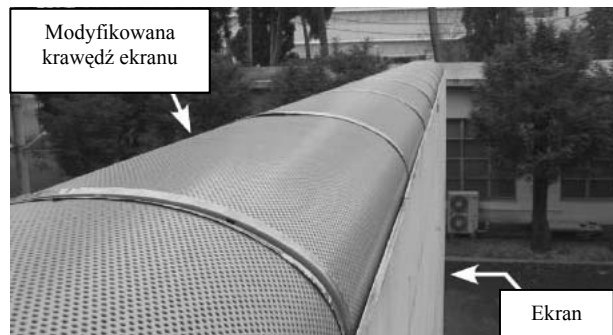
Schematy przykładowych rozwiązań przedstawiono na rys.4. Proponowane rozwiązania przyjmują różne kształty a ich grubość mieści się w zakresie od 500 – 2000 mm. [5]



Rys. 2. Rozchodzenie się fal dźwiękowych w sąsiedztwie ekranu akustycznego o prostopadłościennym kształcie.

Fig. 2. Propagation of sound waves in the vicinity of the regular shaped acoustic screen.

Urządzenia te (rys.3) wspomagają obniżenie poziomu dźwięku za ekranem akustycznym poprzez różne zjawiska, do których między innymi możemy zaliczyć: absorpcję, zakłócenia, rezonans czy aktywną redukcję hałasu. Różne wartości skuteczności uzależnione są bezpośrednio od przekroju reduktora a to z kolei przekłada się na otrzymywane charakterystyki częstotliwościowe redukcji dźwięku.

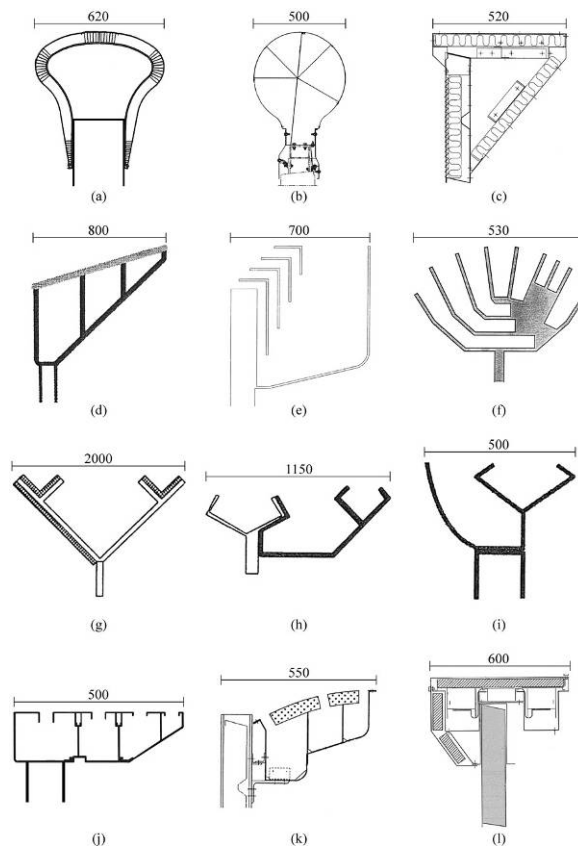


Rys. 3. Widok na element zamykający zlokalizowany na górnej krawędzi ekranu. [8]

Fig. 3. Close-up view on a barrier top with edge-modifying device. [8]

Przeprowadzone analizy numeryczne [6] wykazały, że skuteczność urządzenia zamontowanego na krawędzi ekranu zależy od profilu i mechanizmu działania, a różnica wydajności pomiędzy urządzeniem bez i po jego zabudowie wzrasta nawet do 8 dB, w stosunku do bariery o podobnych parametrach geometrycznych, usytuowanej na płaskim terenie, przy założeniu rozważanych warunków dźwiękowych tj. przy zastosowaniu znormalizowanego widma hałasu drogowego. Różnica w skuteczności wzrasta przede wszystkim przy większych kątach dyfrakcji, tj. w przypadku lokalizacji punktu odbioru w stosunku do

lokalizacji źródła hałasu umieszczonego w wykopie czy na nasypie. W takich sytuacjach należy dany przypadek rozpatrywać indywidualnie i brać pod uwagę różnicę wzrostu bądź obniżenia skuteczności w stosunku do prostej części ekranu. Ostatecznie podejmując decyzję co do rodzaju urządzenia, które zostanie użyte należy przeprowadzić analizy rozprzestrzeniania się hałasu za ekranem ze zmodyfikowaną krawędzią.



Rys. 4. Przykłady komercyjnych rozwiązań modyfikacji górnej krawędzi ekranów akustycznych stosowanych w Japonii: a,c) pochłaniacz bez tylnego wgłębienia, b,d) pochłaniacz z różnymi tylnymi wgłębieniami, e,f,g,h,i) interferencja bez pochłaniania, j) rezonatory bez elementów pochłaniających, k) rezonatory i pochłaniacze, l) aktywne systemy kontroli i pochłaniacze. [4]

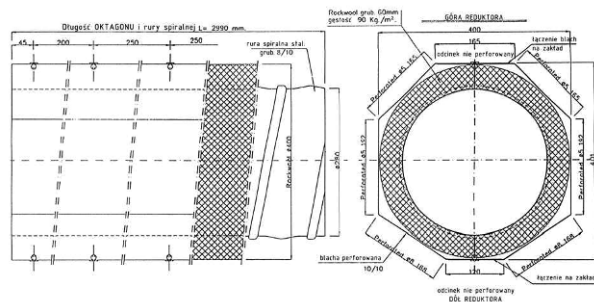
Fig. 4. Examples of edge-modified barriers distributed as commercial products in Japan: a,c) absorber without back cavity, b,d) absorber with various back cavities, e,f,g,h,i) interference without absorber, j) resonators without absorber, k) resonators and absorbers, l) active-control systems and absorbers. [4].

Ogólnie rzecz biorąc, aby określić efektywność całego ekranu, w tym efekty obniżenia poziomu dźwięku zarówno części prostej ekranu jak i urządzenia krawędziowego, należy przeprowadzić stosowne pomiary

wykorzystując metodę zawartą w normie PN ISO 10847 [9] lub każdą inną równoważną procedurę badawczą. W Polsce coraz częściej obserwuje się nowo powstające ekrany akustyczne, których górną krawędź pokrywają

potocznie nazywane elementy zwięzające. Najpopularniejszym rozwiązaniem jest tzw. oktagon o handlowej nazwie oktagonalny reduktor hałasu OTA-95. [10] Oktagon (rys.5, rys. 6) redukuje energię załamanej fali dźwięku w strefie cienia akustycznego oraz:

- przy tej samej wysokości ekranu dołączony do niego oktagon poprawia efekt tłumienia o średnią wartość 3 dB (A);
- przy użyciu oktagonu możliwe jest zredukowanie nawet o 1 metr całkowitej wysokości ekranu przy zachowaniu tej samej efektywności jakiej daje konwencjonalny ekran. [10]



Rys. 5. Schemat budowy oktagonu OTA-95. [10]
Fig. 5. Schematic diagram of the octagon OTA-95. [10]



Rys. 6. Widok na element zwięzający OTA-95.
Fig. 6. View on the top with edge-modifying OTA-95.

Jeżeli wzdłuż drogi jest zainstalowana powierzchnia odbijająca dźwięk, może okazać się właściwym zastosowanie elementów pochłaniających od strony drogi w celu zmniejszenia dodatkowej uciążliwości wynikającej z odbicia dźwięku. Stosowane do zabezpieczeń przeciwdźwiękowych ekrany akustyczne muszą spełniać w tym zakresie odpowiednie wymagania normowe [1,2]. Spełnienie tych wymagań procentuje uzyskaniem takich właściwości akustycznych, które pozwolą zszeregować dany produkt do odpowiedniej klasy pochłaniania dźwięku. W przypadku ekranów akustycznych są to klasy właściwości pochłaniających, które przedstawiono w tabeli 1. Dostępna literatura i materiały techniczne potwierdzają, że za-

stosowanie reduktora dźwięku na górnej krawędzi ekranu przyczynia się do poprawy jego skuteczności, dlatego w artykule przedstawiono przykładowo wpływ krawędziowego reduktora na właściwości pochłaniające ekranu akustycznego typu „zielona ściana” na podstawie przeprowadzonych badań.

Tabela 1. Klasy właściwości pochłaniających [1]
Table 1. Classes of absorption properties [1]

Klasa	DL_α , dB
A0	nie określa się
A1	< 4
A2	4 ÷ 7
A3	8 ÷ 11
A4	> 11

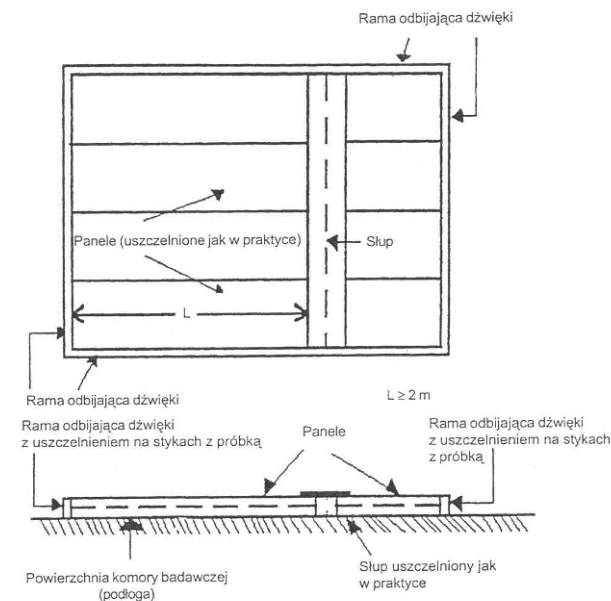
2. METODYKA PROWADZONYCH BADAŃ

Do określenia odpowiedniego czasu pogłosu w audytorium, biurze czy hali produkcyjnej oraz w celu obniżenia hałasu za pomocą wyrobów i ustrojów dźwiękochłonnych, niezbędna jest znajomość charakterystyk chłonności akustycznej poszczególnych powierzchni. Norma [11] przedstawia jednolitą metodę i warunki pomiaru pochłaniania dźwięku w komorach pogłosowych oraz obliczenia współczynnika pochłaniania dźwięku α_s , natomiast zamiast wartości współczynnika pochłaniania dźwięku α_s , zależnych od częstotliwości, na jedną liczbę dokonuje się przy pomocy procedur opisanych w normie [12]. Uzyskane pomiarowo wartości współczynnika pochłaniania dźwięku dla poszczególnych pasm 1/3 oktaowych, zamienia się na obliczeniowy (praktyczny) współczynnik pochłaniania dźwięku α_p dla pasm oktaowych oraz jednoliczbowy wskaźnik pochłaniania dźwięku α_w .

Badania właściwości pochłaniających materiałów lub elementów budowlanych wykonywane są w komorze pogłosowej na specjalnie przygotowanej próbce badawczej. Schemat zabudowy próbki do badań laboratoryjnych przedstawiono na rys.7. Badanie polega na wyznaczeniu czasu pogłosu dla pustej komory i dla komory z zabudowaną próbką badawczą. Otrzymane na podstawie pomiarów wyniki poddawane są obróbce, by w końcowym etapie wyznaczyć jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_α ze wzorem (1).

$$DL_\alpha = -10 \log \left| \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} \cdot 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right| \quad [dB] \quad (1)$$

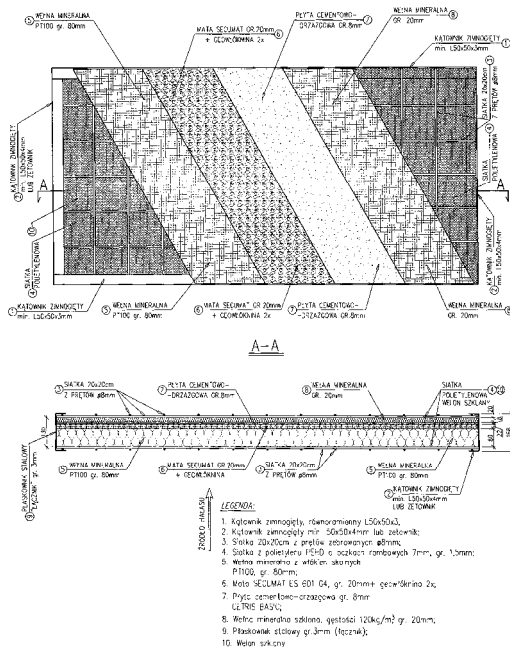
gdzie: L_i – znormalizowany poziom dźwięku A w dB hałasu drogowego w i-tym paśmie częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy, α_{si} – współczynnik pochłaniania dźwięku w i-tym paśmie częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy.



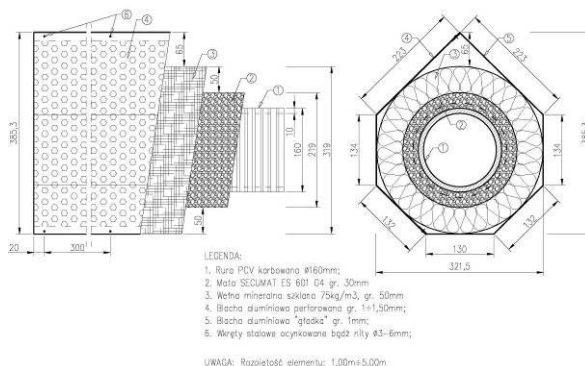
Rys. 7. Schemat montażu próbki do badań. [1]
Fig. 7. Assembly diagram of the test sample. [1]

3. OPIS PRÓBEK PODDANYCH BADANIOM

Badania właściwości pochłaniających przeprowadzono dla dwóch próbek badawczych (rys. 12 i 13) składających się z ekranu prostego oraz ekranu z umieszczonym na górnej jego krawędzi reduktorem dźwięku. Próbkę ekranu akustycznego wykonana została z zielonego panelu dźwiękochłonnego i krawędziowego reduktora dźwięku (rys. 8 i 9) oraz (rys.10). Próbkę ułożoną została na podłodze komory pogłosowej zgodnie z zaleceniami dla sposobu montażu A (rys.7) normy [1]. Próbkę zabudowano w komorze pogłosowej 24 godziny przed wykonaniem pomiarów w celu wyrównania i ustabilizowania temperatury i wilgotności. Poddane badaniom próbki posiadały następujące wymiary: próbka ekranu prostego - 400 x 298,5 x 17 cm o powierzchni 11,94 m², natomiast próbka ekranu z reduktorem - 400 x 287 x 17 cm - 11,48 m². Przygotowywane do badań elementy zawierały w swojej budowie słup HEB 160 o długości 2,985 m dla próbki ekranu prostego oraz 2,49 m dla próbki z krawędziowym reduktorem zgodnie z zaleceniami [1] przedstawionymi na rys.7. Obrzeże poddanej badaniom próbki osłonięte zostało drewnianą ramą i oklejone taśmą, co przedstawiono na rys.11, natomiast na rys. 12 pokazano próbkę ekranu prostego umieszczoną w komorze pogłosowej, celem wyznaczenia pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku α_{si} w funkcji częstotliwości. Rys. 13 przedstawia sposób ułożenia elementów w próbce badawczej ekranu prostego z krawędziowym reduktorem dźwięku. Badania współczynnika pochłaniania dźwięku α_{si} przeprowadzono z wykorzystaniem metody szumu przerywanego zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie [11].



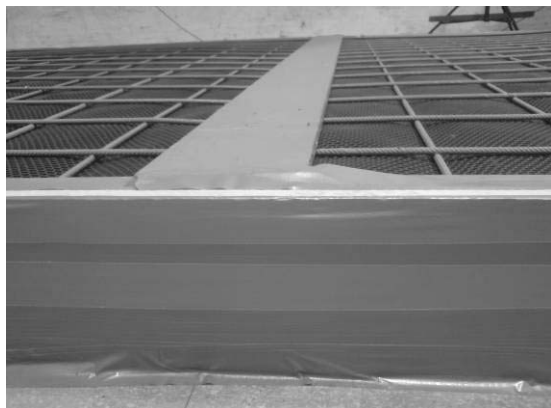
Rys. 8. Schemat budowy panelu typu zielona ściana. [14]
Fig. 8. Schematic diagram of the green panel. [14]



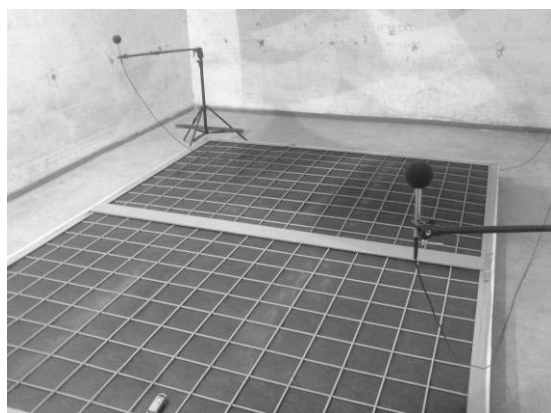
Rys. 9. Schemat budowy reduktora dźwięku. [14]
Fig. 9. Schematic diagram of the reducer edge. [14]



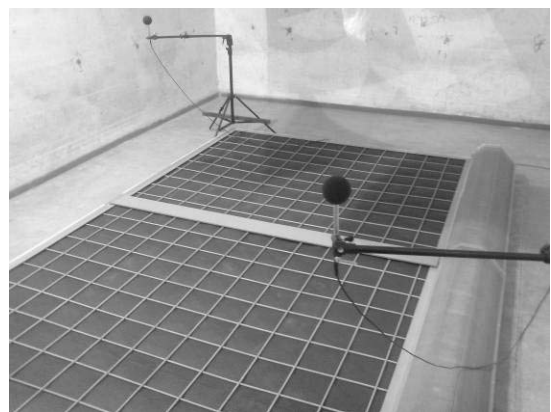
Rys. 10. Widok na krawędziowego reduktora dźwięku.
Fig. 10. View on the sound reducer edge.



Rys.11 .Sposób zabezpieczenia obrzeża próbki badawczej w celu zminimalizowania pochłaniania dźwięku przez krawędź próbki. [13]
 Fig.11. Way of securing the periphery of the sample test in order to minimize the absorption of sound by the edge of the sample. [13]



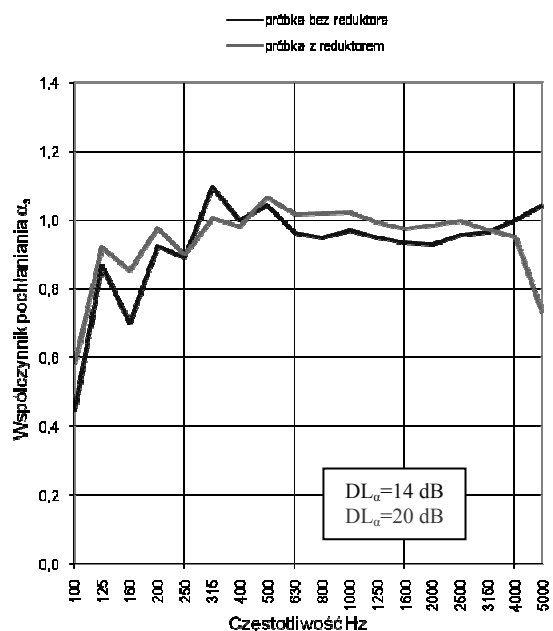
Rys. 12. Widok ekranu prostego. [13]
 Fig. 12. View on the simple wall. [13]



Rys. 13. Widok ekranu z krawędziowym reduktorem hałasu.
 Fig. 13. View on the wall of the edge noise reducer.

4. WYNIKI BADAŃ

Miarodajną cechą oceny właściwości akustycznych drogowej bariery przeciwdźwiękowej jest jednolite wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku DL_{α} , służący do określenia właściwości absorpcyjnych ekranu akustycznego zawierającego w swojej budowie elementy konstrukcyjne i wypełniające. Przeprowadzone badania laboratoryjne były podstawą do wyznaczenia pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku α_{si} (rys. 14) oraz wskaźnika DL_{α} dla ekranu prostego i z zabudowanym krawędziowym reduktorem dźwięku.



Rys. 14. Właściwości pochłaniające próbek.
 Fig. 14. Absorbing properties of the samples.

Jednolite wskaźnik dla ekranu prostego $DL_{\alpha}=14$ dB, natomiast z zabudowanym krawędziowym reduktorem dźwięku $DL_{\alpha}=20$ dB. Wyznaczone na podstawie α_{si} obliczeniowy współczynnik pochłaniania α_p przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Obliczeniowy współczynnik pochłaniania p.[13]
 Table 2. Calculated absorption coefficient p. [13]

Częstotliwość f [Hz]	Ekran prosty α_p	Ekran z reduktorem α_p
125	0,65	0,80
250	0,95	0,95
500	1,00	1,00
1000	0,95	1,00
2000	0,95	1,00
4000	1,00	0,90

5. WNIOSKI I PODSUMOWANIE

Prowadzone od kilku lat prace nad poprawą właściwości akustycznych górnej krawędzi ekranu akustycznego oraz wdrożone do zastosowań komercyjnych elementy określone jako krawędziowe reduktory hałasu przyciągają zarówno zwolenników stosowania takich rozwiązań jak i przeciwników, którzy nie szczędzą słów krytyki mówiących o znikomej poprawie skuteczności ekranu akustycznego posiadającego takie rozwiązanie. Japońskie doświadczenia badawcze oraz zastosowane w praktyce terenowej reduktory potwierdzają fakt pozytywnego wpływu takiego rozwiązania pod warunkiem właściwego doboru ich kształtu i rodzaju wypełnienia materiałowego dostosowanego do miejsca jego zastosowania. Dostępne obecnie w naszym kraju reduktory stosowane są jako urządzenia uniwersalne w każdej sytuacji mimo, że warunki terenowe są różne. Obserwuje się brak dostatecznej liczby wyników badań, które obrazowałyby skuteczność stosowanych rozwiązań. Wykonane przez autorów laboratoryjne badania właściwości pochłaniających ekranu akustycznego o prostej konstrukcji oraz po zabudowaniu na jego górnej krawędzi reduktora dźwięku pozwalają stwierdzić, że dla takich układów następuje wzrost chłonności akustycznej całego ustroju.

LABORATORY MEASUREMENTS OF ROAD EQUIPMENT'S SOUND ABSORPTION BY MEANS OF THE EDGE SOUND REDUCER

Summary: The paper studies the impact of the edge sound reducer on the absorbing properties of road equipment. The study was conducted for two samples: a simple acoustic screen and a screen with the sound reducer on the upper edge. On the basis of the research, a single numerical index of DL_{α} sound absorption assessment was determined.

Literatura

- [1] PN-EN 1793-1:2001: Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Metoda badania w celu wyznaczenia właściwości akustycznych. Część 1: Właściwa charakterystyka pochłaniania dźwięku.
- [2] PN-EN 1793-2:2001: Drogowe urządzenia przeciwhałasowe Metoda badania w celu wyznaczenia właściwości akustycznych Część 2: Znormalizowane widmo hałasu drogowego.
- [3] K. Fujiwara, N. Furuta: Sound shielding efficiency of a barrier with a cylinder at the edge. *Noise Control Eng. J.* 1991;37, Pages 5–11.
- [4] T. Okubo: Edge-modified noise barriers. *J. INCE Jpn.* 2004;28, Pages 317–322.
- [5] T. Okubo, K. Yamamoto: Procedures for determining the acoustic efficiency of edge-modified noise barriers. *Applied Acoustics* Vol. 68, 7/2007, Pages 797-819.

- [6] T. Ishizuka, K. Fujiwara: Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. *Applied Acoustics* 2004;65, Pages 125–141.
- [7] T. Okubo, K. Yamamoto: Simple prediction method for sound propagation behind edge-modified barriers. *Acoustics Sci. & Tech.* Vol. 28, 1/2007, Pages 7-15.
- [8] T. Okubo, T. Matsumoto, K. Yamamoto, O. Funahashi, K. Nakasaki: Efficiency of edge-modified noise barriers: Intrinsic efficiency determination of practical products and prediction of the diffracted sound field. *Acoustics Sci. & Tech.* Vol. 31, 1/2010, Pages 56-67.
- [9] PN ISO 10847:2002: Akustyka. Wyznaczanie „in situ” skuteczności zewnętrznych ekranów akustycznych wszystkich rodzajów.
- [10] Signalco Ltd. Katalog ekranów akustycznych.
- [11] PN-EN ISO 354:2005: Akustyka. Pomiar pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej.
- [12] PN-EN ISO 11654:1999 Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku.
- [13] R. Żuchowski, L. Dulak, J. Pankiewicz: Badania izolacyjności akustycznej i współczynnika pochłaniania dźwięku trzech rodzajów paneli typu „zielona ściana”. Praca NB-64/RB-9/2010, Gliwice 2010.
- [14] Gomibud Przedsiębiorstwo Budowlano – Usługowe Sp z o.o.: Materiały projektowe producenta.