

## BADANIA PARAMETRÓW DŹWIĘKOCHŁONNYCH PANELI EKRAŃÓW DROGOWYCH PODDANYCH STARZENIU W WARUNKACH NATURALNYCH

Artur NOWOŚWIAT, Leszek DULAK, Bartłomiej PUDEŁKO, Rafał ŻUCHOWSKI\*

<sup>1</sup>Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska  
ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice,

email: {artur.nowoswiat, leszek.dulak, bartlomiej.pudelko, rafal.zuchowski}@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono wyniki badań właściwości dźwiękochłonnych ekranów akustycznych, które pełniły funkcję ochronną dla terenów mieszkaniowych zlokalizowanych w sąsiedztwie autostrady. Badania wybranych parametrów akustycznych wykonano bezpośrednio po demontażu ich z miejsca eksploatacji w warunkach laboratoryjnych, montując przetransportowane panele w komorze pogłosowej. Po wykonaniu badań panele poddano suszeniu w warunkach naturalnych aż do momentu uzyskania przez nie parametrów porównywalnych w chwili ich produkcji. Po tym czasie próbkę ponownie zabudowano w komorze powtórnie wyznaczając parametry dźwiękochłonne. Celem pracy jest ocena wpływu warunków środowiskowych na właściwości dźwiękochłonne drogowych ekranów akustycznych.

**Słowa kluczowe:** ekrany akustyczne, trwałość, pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku, ważony wskaźnik pochłaniania.

### 1. WPROWADZENIE

Badania drogowych ekranów akustycznych prowadzone są od końca lat 50-ych XX wieku. Dotyczą one głównie pochłaniania dźwięku oraz efektywności akustycznej ekranów pełniących ważną rolę w procesie ochrony terenów zabudowanych. W celu rozpoznania wpływu czynników środowiskowych na pochłanianie dźwięku badane były różne parametry, m. in. takie jak: efektywność ekranowania [1,2], konstrukcja i struktura ekranu, czy też rodzaj zastosowanych materiałów [3,4]. W innej pracy [5] analizowano różne typy przekrojów takich barier. Badano również zjawisko dyfrakcji w ekranach akustycznych [6]. Dźwiękochłonność ekranów akustycznych jest jednym z głównych czynników decydujących o ich skuteczności. Głównymi parametrami oceny są: pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku  $\alpha_{si}$ , ważony wskaźnik pochłaniania

dźwięku  $\alpha_w$ , według [7] oraz jednolicebny wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_\alpha$  według [8]. Na tej podstawie określone są klasy właściwości pochłaniających od najniższej A0 do najwyższej A5 w zależności od wartości wskaźnika  $DL_\alpha$  [8]. Zazwyczaj badania jakości akustycznej określane są dla ekranów przed ich zabudowaniem. Wartość ważonego wskaźnika pochłaniania dźwięku uzależniona jest w głównej mierze od parametrów danego materiału. Badaniom poddany został fragment ekranu akustycznego, który był zabudowany w sąsiedztwie autostrady i systematycznie ulegał starzeniu się na skutek oddziaływania czynników atmosferycznych oraz substancji będących efektem użytkowania i utrzymania pasa drogowego. Czynniki te negatywnie wpływają na trwałość zabudowanych w bezpośrednim sąsiedztwie drogi ekranów akustycznych, co przedstawiono na rys. 1.



Rys. 1. Ekran akustyczny poddany oddziaływaniom meteorologicznym oraz czynnikiem związanym z utrzymaniem pasa drogowego.

Fig. 1. Acoustic screen subjected to meteorological impacts and maintenance of the road buffer.

\* Autor korespondencyjny, e-mail: rafal.zuchowski@polsl.pl

Poddane badaniom ekrany akustyczne zaprojektowano jako środki ochrony przed hałasem pochodzącym z autostrady, które były wybudowane w roku 2005 i stanowiły ochronę przed hałasem do momentu ich rozbiórki w roku 2015. Wypełnienie ekranu pomiędzy stalowymi słupami HEB stanowiły dwa typy paneli: stalowe i aluminiowe. Panele stalowe, które stanowiły większą część wypełnienia uległy niemalże całkowitemu zniszczeniu, rys. 2., wobec czego nie nadawały się do przeprowadzenia badań.



Rys. 2. Zniszczenia stalowych paneli ekranu akustycznego.  
Fig. 2. Destruction of steel acoustic screen panels.

Cześć zabudowanych ekranów akustycznych posiadała wypełnienie w postaci paneli aluminiowych, które nie uległy zniszczeniu na skutek korozji, więc tylko dla takich paneli przeprowadzono badania.

## 2. METODA BADAWCZA

### 2.1. Formuły teoretyczne

Jakość akustyczna wyrobów i ustrojów dźwiękochłonnych określana jest poprzez znajomość charakterystyk chłonności akustycznej elementu tj. poprzez pomiar współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha_{si}$  w komorach pogłosowych zgodnie z ustaleniami normowymi [8]. Podstawowy parametr, jakim jest współczynnik pochłaniania dźwięku  $\alpha_s$  obliczamy za pomocą wzoru:

$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \quad (1)$$

gdzie:

$A_T$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej badanej próbki, w  $m^2$  obliczone jak niżej,  
 $S$  – pole powierzchni pokrytej badaną próbką w  $m^2$ .

$$A_T = A_2 - A_1 \quad (2)$$

gdzie:

$A_1$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej pustej komory pogłosowej w  $m^2$ ,  
 $A_2$  – równoważne pole powierzchni dźwiękochłonnej komory pogłosowej z badaną próbką w  $m^2$ .

$$A_1 = 55,3 \cdot \frac{V}{c \cdot T_1} - 4 \cdot V \cdot m_1 \quad (3)$$

$$A_2 = 55,3 \cdot \frac{V}{c \cdot T_2} - 4 \cdot V \cdot m_2 \quad (4)$$

gdzie:

$V$  – objętość pustej komory pogłosowej w  $m^3$ ,  
 $c$  – prędkość propagacji dźwięku w powietrzu w m/s (dla temperatur  $t$  z zakresu od 15 °C do 30 °C może być wyliczane z wzoru  $c = 331 + 0,6 \cdot t$ ,

$T_1$  i  $T_2$  – odpowiednio czas pogłosu pustej komory pogłosowej i komory z próbką w sekundach,

$m_1$  i  $m_2$  – mocy współczynnik tłumienia w  $m^{-1}$  obliczony zgodnie z PN-ISO 9613-1 [9] odpowiednio pustej komory pogłosowej i komory z próbką.

Innym parametrem opisującym właściwości dźwiękochłonne ustroju budowlanego jest praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku  $\alpha_p$ , który oblicza się dla każdego  $i$ -tego pasma oktawowego, jako wartość średniej arytmetycznej współczynników pochłaniania dla pasm 1/3 oktaowych  $\alpha_{i1}$ ,  $\alpha_{i2}$  i  $\alpha_{i3}$  znajdujących się w tej oktawie [7]:

$$\alpha_{pi} = \frac{(\alpha_{i1} + \alpha_{i2} + \alpha_{i3})}{3} \quad (5)$$

W przypadku uzyskania wartości  $\alpha_p > 1$  przyjmuje się jako  $\alpha_p = 1$ . Ocenę właściwości dźwiękochłonnych ustroju możemy również przeprowadzić przy pomocy wskaźnika pochłaniania dźwięku  $\alpha_w$ , który jest jednoliczbową wielkością, niezależną od częstotliwości, której wartość jest równa wartości krzywej odniesienia dla częstotliwości 500 Hz, po przesunięciu jej w sposób określony normą [7]. Dla danego wyrobu przypisane są klasy pochłaniania dźwięku, które przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Klasy pochłaniania dźwięku wyznaczone na podstawie wskaźnika  $\alpha_w$ .

Table 1. Classes absorbing acoustic screens  $\alpha_w$ .

Klasa pochłaniania dźwięku	$\alpha_w$
<b>A</b>	0,90; 0,95; 1,00
<b>B</b>	0,80; 0,85
<b>C</b>	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
<b>D</b>	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
<b>E</b>	0,25; 0,20; 0,15
<b>Nie klasyfikowane</b>	0,10; 0,05; 0,00

W przypadku, gdy wartość współczynnika pochłaniania dźwięku przekracza o wartość 0,25 lub więcej przesuniętą krzywą odniesienia, w różnych pasmach częstotliwości, podanych w normie [7] określany jest współczynnik kształtu przyjmujący określenie w postaci wartości literowych: L (low), M (medium) oraz H (high).

Zgodnie z ustaleniami normowymi [7] możliwa jest zamiana wartości współczynnika pochłaniania dźwięku  $\alpha_{si}$ , zależnych od częstotliwości, na jedną liczbę, w tym pasm 1/3 oktawowych, które zamienia się na wartości dla pasm oktawowych (6). Jednolicebny wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_\alpha$  wyrażony jest, jako różnica poziomów dźwięku A w decybelach [8].

$$DL_\alpha = -10 \lg \left| 1 - \frac{\sum_{i=1}^{18} \alpha_{si} 10^{0,1L_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1L_i}} \right|, \text{ dB} \quad (6)$$

gdzie:

$L_i$  – znormalizowany poziom dźwięku A, w dB, hałasu drogowego w i-tym paśmie częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy,

$\alpha_{si}$  – współczynnik pochłaniania dźwięku w i-tym paśmie częstotliwości o szerokości 1/3 oktawy pomieszczenie.

## 2.2. Klasy ekranów akustycznych

Często, 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. Norma [8] opisuje właściwości pochłaniające dźwięk przez projektowane drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Oznaczanie właściwości dźwiękochłonnych ma na celu umożliwienie określenia właściwej charakterystyki pochłaniania dźwięku pomocnej przy dokonywaniu wyboru rodzaju ekranu akustycznego dla konkretnej lokalizacji terenowej. Znajac wartości  $DL_\alpha$  można zaklasyfikować ekran akustyczny pod względem właściwości pochłaniających przypisując mu odpowiednią klasę określoną według zaleceń normowych [8] (tab.2):

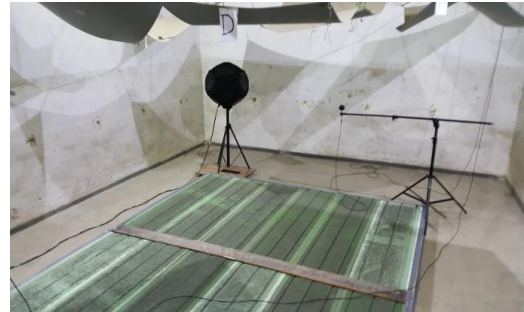
Tabela 2. Klasy właściwości pochłaniających ekranów.  
Table 2. Classes absorbing acoustic screens.

Klasa	$DL_\alpha$ , dB
A0	nie określa się
A1	< 4
A2	4 ÷ 7
A3	8 ÷ 11
A4	12 ÷ 15
A5	> 15

## 2.3. Opis stanowiska badawczego

W celu sprawdzenia jak naturalne środowisko drogowe wpływa na właściwości akustyczne badanych ekranów, wykonano badania właściwości dźwiękochłonnych paneli akustycznych w stanie początkowym (czyli bezpośrednio po demontażu próbki – etap1) oraz w odstępie czasowym

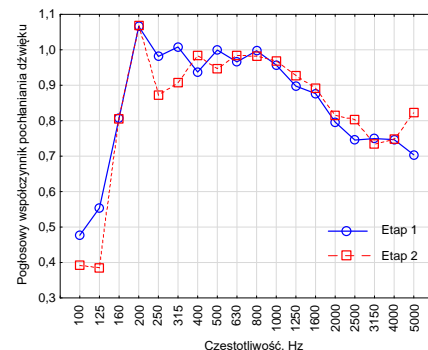
umożliwiającym osiągnięcie przez próbkę parametrów neutralnych zbliżonych do paneli z etapu ich produkcji (etap 2). Poszczególne panele próbki ułożono w pozycji horyzontalnej na podłodze komory pogłosowej (rys.3). Pomiedzy panelami umieszczono słup stalowy z profilu HEB180 imitujący element konstrukcyjny w warunkach rzeczywistych a obrzeże próbki zabezpieczono ramą odbijającą dźwięki. Badania przeprowadzono przy użyciu układu pomiarowego, którego elementy składowe spełniały wymagania metrologiczne dla przyrządów o wymaganej normowo klasie dokładności.



Rys. 3. Stanowisko badawcze w komorze pogłosowej.  
Fig. 3. Research station in the reverberation chamber.

## 2.4. Wyniki badań

Na podstawie zmontowanych w komorze pogłosowej dwunastu paneli o łącznej powierzchni 12.0 m<sup>2</sup> (rys.3), przy stabilnych warunkach termiczno - wilgotnościowych: temperaturze  $+15 \pm 0,5^\circ\text{C}$  i wilgotności względnej nie większej niż 50 % przeprowadzono badania drogowych ekranów akustycznych w dwóch omówionych wcześniej etapach. Na ich podstawie wyznaczono charakterystyki pochłaniania dźwięku w zakresie częstotliwości 100-5000 Hz, obliczono ważony wskaźnik pochłaniania dźwięku  $\alpha_w$ , wg [7] oraz jednolicebny wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_\alpha$  wg [8]. Wyniki badań przedstawiono w (tab.3) oraz zaprezentowano graficznie na (rys.4).



Rys. 4. Współczynnik pochłaniania dźwięku ekranu dla etapu 1 i 2.  
Fig. 4. Sound absorption coefficient for the screen for steps 1 and 2.

Tabela 3. Zestawienie właściwości pochłaniających ekranu akustycznego zaraz po demontażu (etap 1) oraz po uzyskaniu optymalnej wilgotności (etap 2).

Table 3. Summary of absorption properties of the acoustic screen immediately after dismantling (step 1) and after achieving optimum humidity (step 2).

Częstotliwość f [Hz]	$\alpha_s$	$\alpha_p$	T <sub>1</sub> [s]	T <sub>2</sub> [s]	Częstotliwość f Hz	$\alpha_s$	$\alpha_p$	T <sub>1</sub> s	T <sub>2</sub> s
100	0,48	0,60	14,53	3,97	100	0,39	0,55	13,19	4,44
125	0,55		9,22	3,12	125	0,39		7,07	3,47
160	0,81		7,66	2,27	160	0,80		6,89	2,21
200	1,07	1,00	9,57	1,95	200	1,07	0,95	9,61	1,95
250	0,98		8,67	2,03	250	0,87		9,88	2,30
315	1,01		7,43	1,92	315	0,91		8,01	2,12
400	0,94	0,95	6,98	1,99	400	0,99	0,95	7,04	1,93
500	1,00		6,45	1,86	500	0,95		6,53	1,94
630	0,97		6,10	1,87	630	0,98		6,27	1,87
800	1,00	0,95	6,06	1,83	800	0,98	0,95	6,16	1,86
1000	0,96		5,93	1,87	1000	0,97		5,96	1,86
1250	0,90		5,20	1,86	1250	0,93		5,44	1,86
1600	0,88	0,80	4,59	1,81	1600	0,89	0,85	4,81	1,82
2000	0,80		3,90	1,78	2000	0,81		4,15	1,81
2500	0,75		3,25	1,68	2500	0,80		3,58	1,71
3150	0,75	0,75	2,77	1,54	3150	0,73	0,75	3,07	1,65
4000	0,75		2,08	1,30	4000	0,75		2,44	1,44
5000	0,70		1,60	1,12	5000	0,82		1,90	1,19
$\alpha_w = 0,85$ (L)				$\alpha_w = 0,90$ (L)					

$DL_{\alpha} \approx 10$  dB

$DL_{\alpha} \approx 10$  dB

### 3. WNIOSKI

Przedstawione wyniki badań parametrów akustycznych urządzeń ochrony przed hałasem drogowym, poddanych oddziaływaniu naturalnych czynników atmosferycznych takich jak: deszcz, śnieg, promieniowanie słoneczne, wiatr oraz mróz, obejmują próbkę badawczą będącą w dwóch różnych stanach wilgotnościowych. Analiza otrzymanych wyników badań pozwala stwierdzić, że wpływ warunków naturalnych na parametry akustyczne jest znikomy a badane próbki cechują się zbliżonymi właściwościami dźwiękochłonnymi w całym zakresie częstotliwości. Fakt ten potwierdzają wyznaczone w obydwu przypadkach parametry akustyczne. Wyznacznik kształtu przyjmuje taką samą wartość przyjmując poziom L. Wyznaczona wartość wskaźnika pochłaniania dźwięku dla ekranu bezpośrednio po demontażu wyniosła  $\alpha_w = 0,85$  i mieścił się w klasie pochłaniania B, natomiast po uzyskaniu wilgotności optymalnej wartość ta zwiększyła się do  $\alpha_w = 0,9$  wobec czego badany ponownie ustrój należy zaliczyć do najwyższej klasy A. W obu przypadkach jednoliczbowy wskaźnik oceny pochłaniania dźwięku  $DL_{\alpha} = 10$  dB, co lokuje badany ekran w klasie A3. Otrzymane wyniki są porównywalne z wielkościami dla tego typu paneli.

### RESEARCH OF AUDIO PARAMETERS OF SOUND SCREEN PANELS OF ROAD SCREENINGS IN NATURAL CONDITIONS

**Summary:** The article presents the research results of sound absorption properties of noise barriers, which had a protective function in residential areas located in the vicinity of the motorway. The study of selected acoustic parameters was performed directly after their dismantling from the place of its use under laboratory conditions, installing the transported panels in the reverberation chamber. After the test, panels were dried under natural conditions until they achieved parameters comparable at the time of production. After this period, the sample was rebuilt in the chamber, setting sound absorption parameters once again. The aim of the study is to evaluate the influence of environmental conditions on sound absorption properties of road noise barriers.

### Literatura

- [1] Rettinger M. *Noise Level Reductions of Barriers*. Noise Control, 3, 5, 1957, p. 50 – 52.
- [2] Meakawa Z. *Noise reduction by screens*. Applied Acoustics, Vol. 1 (3), 1968, p. 157 – 173.
- [3] Samuels S., Ancich E. *Recent developments in the design and performance of road traffic noise barriers*. Acoustics Australia, Vol. 29, No 2, 2001, p. 73 – 78.
- [4] Waubke H., Kasess Ch. *Implementation of insertion loss of arbitrarily shaped noise barriers into noise mapping software*. The 22<sup>nd</sup> International Congress on Sound and Vibration, Florence, 2015.
- [5] Watts G., Morgan P.A. *Acoustic Performance of an Interference-Type Noise-Barrier Profile*. Applied Acoustics, Vol. 49, No.1, 1996, p. 1 – 16.
- [6] Fujiwara K., Ando Y., Meakawa Z. *Noise control by barriers – Part 2: Noise reduction by an absorptive barrier*. Applied Acoustics, 10 (3), 1977, p. 167 – 179.
- [7] ISO 11654:1997 Akustyka. Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie. Wskaźnik pochłaniania dźwięku.
- [8] PN-EN 1973-10:2001 Akustyka. Drogowe urządzenia przeciwhałasowe. Metoda oznaczania właściwości akustycznych. Część 1: Podstawowe właściwości pochłaniania dźwięku.
- [9] PN-ISO 9613-1:2000 Akustyka – Tłumienie dźwięku podczas propagacji w przestrzeni otwartej. Obliczanie pochłaniania dźwięku przez atmosferę.