

mgr inż. Wojciech Caballero-Frączkowski¹⁾
 ORCID: 0000-0003-2006-6173

Zielone ściany jako ekologiczne rozwiązanie tłumienia hałasu pogłosowego

Living walls as ecological solutions for the suppression of reverberation noise

DOI: 10.15199/33.2019.08.05

Streszczenie. Hałas wpływa na jakość życia ludzi na całym świecie. W dużych pomieszczeniach o powierzchniach odbijających fale dźwiękowe szczególnie dokuczliwy jest hałas pogłosowy. W artykule przedstawiono właściwości dźwiękochłonne zielonej ściany „Mur Végétal” umieszczonej w Gdańskiej Galerii Handlowej „Przymorze” oraz ocenę jej przydatności w tłumieniu hałasu pogłosowego pochodzącego z działalności tej galerii.
Słowa kluczowe: hałas pogłosowy; zielona ściana; czas pogłosu; tłumienie hałasu; ekologiczne pochłanianie hałasu.

Abstract. Noise affects the quality of life of people around the world. One of its components is the reverberation noise. The phenomenon becomes particularly problematic in large rooms with surfaces that reflect sound waves. The study presents the sound absorption properties of the living wall „Mur Végétal” located in the Gdańsk Shopping Centre „Przymorze” and its usefulness to suppress the reverberation noise of the activity of the shopping centre.
Keywords: noise; living wall; reverberation time; attenuation of the noise; ecological absorption of the noise.

Hałas z otoczenia stał się stałym elementem życia we współczesnych społeczeństwach. Wraz z rozwojem cywilizacyjnym jego obecność ze względu na natężenie, częstotliwość obszarów ludzkiej działalności i czasu występowania zaczęła być coraz bardziej uciążliwa. Jedną ze składowych hałasu z otoczenia jest **hałas pogłosowy**. Jest to zjawisko powstające na skutek odbijania fal dźwiękowych od twardych i gładkich powierzchni pomieszczenia, które pozostają w nim, ponieważ nie są przez te powierzchnie pochłaniane. Wielkość hałasu pogłosowego zależy od czasu pogłosu, czyli okresu, w jakim dźwięk pozostaje w pomieszczeniu po tym, jak przestało działać źródło dźwięku. Jest on szczególnie uciążliwy w pomieszczeniach, w których przebywają duże skupiska ludzi, gdyż powoduje m.in., że mowa ludzka staje się mniej zrozumiała dla odbiorcy, co zmusza rozmówców do coraz głośniejszego mówienia. W akustyce zjawisko to znane jest jako tzw. efekt Lombarda [2], który powoduje dalszy wzrost natężenia hałasu i zwiększa jego szkodliwość dla zdrowia ludzkiego. Zgodnie z raportem dotyczącym hałasu, wydanym przez Światową Organizację Zdrowia (WHO): *hałas jest problemem zdrowia publicznego współczesnego świata* [8]. W celu zminimalizowania tego problemu konieczna jest ochrona przed hałasem w obiektach budowlanych i spełnienie odpowiednich wymagań. Wymagania dotyczące hałasu pogłosowego określa Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie Warunków Technicznych (WT).

Do działań architektonicznych, które chronią pomieszczenia przed hałasem pogłosowym, należą: redukcja kubatury pomieszczeń lub zastosowanie materiałów wykończeniowych, posiadających właściwości dźwiękochłonne [3]. W przypadku budynków użyteczności publicznej, takich jak

współczesne centra handlowe, tylko w ograniczonym stopniu można redukować hałas pogłosowy przez zmniejszanie wymiarów pomieszczeń. Chcąc zapewnić komfort akustyczny setkom ludzi przebywających w tym samym czasie w przestronnych atriach galerii handlowych, należy szukać materiałów wykończeniowych pochłaniających dźwięki.

Nowoczesne trendy w budownictwie zakładają, że podstawowym aspektem dobrego rozwiązania jest kombinacja różnych materiałów, w tym również pochodzących z bezpośredniego otoczenia, w którym mają być instalowane. Ze względów ekologicznych do takich rozwiązań włącza się roślinność. Do najciekawszych rozwiązań tego typu należą zielone ściany (ang. *living walls*). Brak okien i jakichkolwiek innych elementów podziału ściany sprawia, że wiszący ogród staje się gigantycznym trawnikiem łączącym walory dźwiękochłonne [4] i wizualne. Dobrym przykładem jest „Mur Végétal”, czyli ściana w gdańskiej Galerii „Przymorze”, autorstwa francuskiego botanika i artysty Patricka Blanca. Jest to pionowy ogród rosnący na ścianie o wymiarach 11 m wysokości i 10 m szerokości, złożony z systemu modułowych paneli roślinnych (z PVC, stali, aluminium, mat hydroponicznych) przytwierdzonych do konstrukcji nośnej. System korzeniowy roślin rozwija się bezpośrednio w zaprojektowanych panelach w oderwaniu od powierzchni gruntu [1]. Zielona ściana (fotografia) została wybrana do badań dźwiękochłonnych w celu sprawdzenia możliwości wykorzystania jej do zmniejszenia hałasu pogłosowego.

Opis badań

Badania wykonano w dwóch seriach pomiarowych, powtarzając pomiary w tych samych miejscach. Pierwsza seria została wykonana w październiku 2008 r., przed otwarciem galerii, druga w maju 2013 r. po zainstalowaniu zielonej ściany. Do wykonania pomiarów zaniku dźwięku (czasu pogłosu) wybrano 6 najbardziej reprezentatywnych punktów (ogółem zostały przeprowadzone 42 pomiary czasu pogłosu):

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej; Zakład Fizyki Ciepłej, Akustyki i Środowiska; w.caballero@itb.pl



Widok na zieloną ścianę przeznaczoną do badań
View of the green wall intended for testing

- 1,75 metra od zielonej ściany;
- 1,75 metra od butiku 1;
- 1,75 metra od butiku 2;
- 1,75 metra od ściany znajdującej się po przeciwnej stronie zielonej ściany (lewa strona);
- 1,75 metra od ściany znajdującej się po przeciwnej stronie zielonej ściany (prawa strona) w części centralnej galerii;
- w części centralnej galerii.

Podczas pomiarów obecne były tylko dwie osoby – osoba wykonująca pomiary i pomocnik. Galeria na czas pomiarów została zamknięta dla publiczności. Badania i obliczenia wykonano zgodnie z procedurami wynikającymi z następujących norm:

- PN-EN ISO 11654:1999 „Elementy dźwiękochłonne stosowane w budownictwie” [5];
- PN-EN ISO 3382:2001 Akustyka – Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w powiązaniu z innymi parametrami akustycznymi [6];
- PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar czasu pogłosu pomieszczeń. Część 1. Pomieszczenia specjalne [7].

Należy zaznaczyć, że wyniki tych badań mogą służyć jedynie jako orientacyjne.

Wyniki badań i ich interpretacja

Jak już wspomniano, pomiary czasu pogłosu przeprowadzono przed i po instalacji zielonej ściany (w 2008 i 2013 r.). Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 1 ÷ 3 oraz w tabelach 1 i 2. Posługując się wzorem Sabine’a [4]:

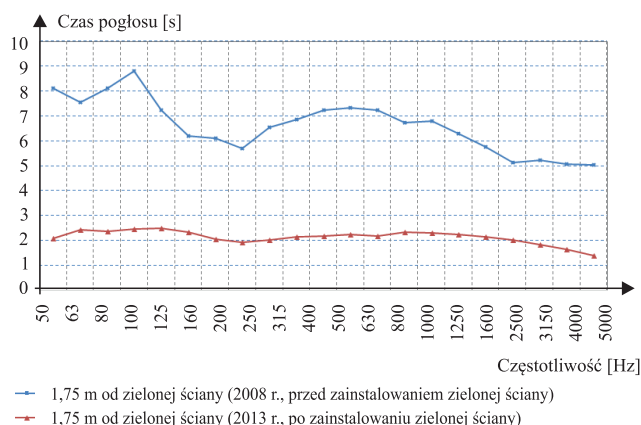
$$A = 0,16 \frac{V}{T} [m^2]$$

gdzie:

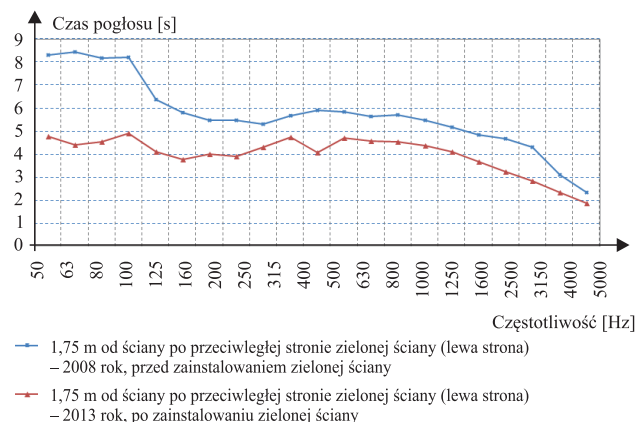
V – objętość mierzonego pomieszczenia [m³]; T – czas pogłosu pomieszczenia [s] obliczono chłonność akustyczną pomieszczenia przed adaptacją zielonej ściany ($A_{\text{Przed adaptacją}}$) i po adaptacji ($A_{\text{Po adaptacji}}$):

$$A_{\text{Przed adaptacją}} = 0,16 (V/T_{\text{przed adaptacją}}) = 0,16 (9856/8,83) = 178,59 m^2$$

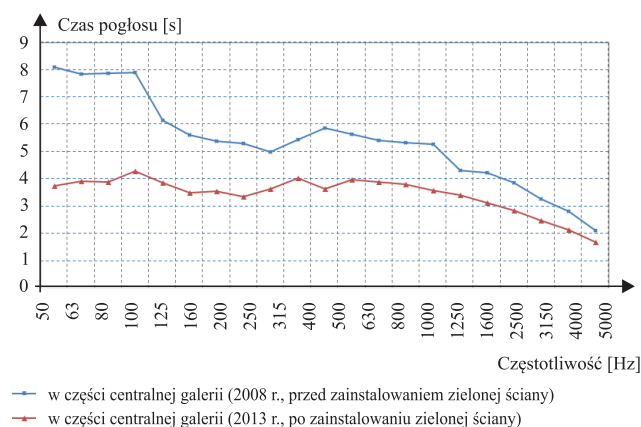
$$A_{\text{Po adaptacji}} = 0,16 (V/T_{\text{po adaptacji}}) = 0,16 (9856/5,12) = 308,00 m^2$$



Rys. 1. Wyniki porównawcze przed i po zainstalowaniu zielonej ściany; pomiary wykonane 1,75 m od zielonej ściany
Fig. 1. Comparative results before and after the installation of the green wall; measurements made at 1.75 m from the green wall



Rys. 2. Wyniki porównawcze przed i po zainstalowaniu zielonej ściany; pomiary wykonane 1,75 m od ściany po przeciwległej stronie zielonej ściany (lewa strona)
Fig. 2. Comparative results before and after installing the green wall; measurements were made at 1.75 m from the wall on the opposite side of the green wall (left side)



Rys. 3. Wyniki porównawcze przed i po zainstalowaniu zielonej ściany; pomiary wykonane w części centralnej galerii
Fig. 3. Comparative results before and after the installation of the green wall; measurements made in the central part of the gallery

W obu przypadkach przyjęto maksymalny czas pogłosu.

Znając chłonność akustyczną pomieszczenia przed i po adaptacji zielonej ściany, można w prosty sposób wyznaczyć spa-

Tabela 1. Wyniki pomiarów wykonanych w październiku 2008 r., przed zainstalowaniem zielonej ściany

Table 1. The results of the test measurements carried out in October 2008, before installing the green wall

f [Hz]	Czas pogłosu [s]					
	1,75 m od zielonej ściany	1,75 m od butiku 1	1,75 m od butiku 2	1,75 m od ściany po przeciwległej stronie zielonej ściany (lewa strona)	1,75 m od ściany po przeciwległej stronie zielonej ściany (prawa strona)	w części centralnej galerii
50	8,12	8,22	8,36	8,33	8,36	8,11
63	7,55	8,23	8,44	8,46	8,44	7,86
80	8,11	8,10	8,23	8,17	8,01	7,88
100	8,83	8,25	8,22	8,20	8,12	7,92
125	7,26	7,28	6,57	6,38	6,33	6,15
160	6,21	6,34	5,77	5,82	5,80	5,62
200	6,11	6,26	5,38	5,48	5,43	5,38
250	5,71	6,00	5,36	5,50	5,42	5,30
315	6,56	6,48	5,22	5,32	5,33	5,00
400	6,87	6,77	5,80	5,68	5,62	5,45
500	7,24	6,96	5,90	5,93	5,92	5,88
630	7,34	6,99	5,93	5,86	5,96	5,65
800	7,25	7,01	5,44	5,66	5,60	5,42
1000	6,74	6,77	5,35	5,72	5,41	5,33
1250	6,81	6,82	5,20	5,48	5,32	5,28
1600	6,31	6,28	4,88	5,20	5,00	4,32
2000	5,78	5,76	4,72	4,86	4,43	4,22
2500	5,13	5,22	4,38	4,68	4,52	3,86
3150	5,23	5,18	3,88	4,32	4,18	3,26
4000	5,07	5,09	3,30	3,11	3,00	2,82
5000	5,06	5,05	2,25	2,35	2,25	2,10

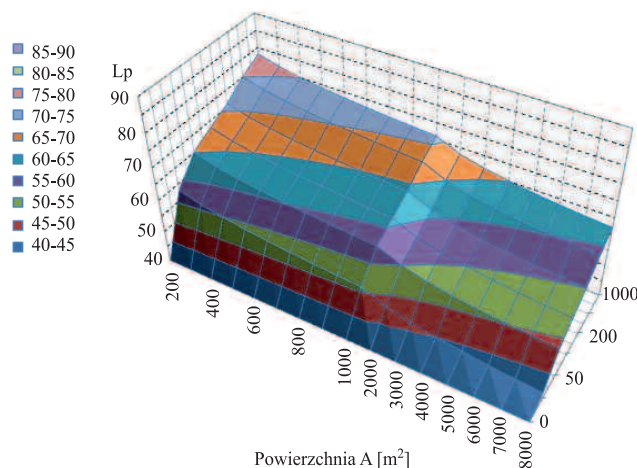
Temperatura podczas badań wynosiła 20,1°C, wilgotność względna 52,5%; kubatura obiektu 9856 m³, a maksymalny czas pogłosu 8,83 s.

dek poziomu hałasu pogłosowego ($\Delta_{\text{Hałas pogłosowy}}$) w badanym pomieszczeniu, korzystając z następującego wzoru:

$$\Delta_{\text{Hałas pogłosowy}} = 10 \log \left(\frac{A_{\text{Przed adaptacją}}}{A_{\text{Po adaptacji}}} \right) \text{ dB}$$

$$\Delta_{\text{Hałas pogłosowy}} = 10 \log \left(\frac{178,59}{308,00} \right) = -2,37 \text{ dB}$$

Na podstawie rysunku 4 [2] stwierdzono, że osiągnięty korzystny rezultat tłumienia hałasu pogłosowego, ponie-



Rys. 4. Zależność poziomu hałasu pogłosowego Lp od liczby osób i powierzchni pochłaniającej A

Fig. 4. Dependencies of Lp for the number of people and the absorbent surface A

Tabela 2. Wyniki pomiarów wykonanych w 2013 r., po zainstalowaniu zielonej ściany

Table 2. The results of the test measurements carried out in 2013, after installing a green wall

f [Hz]	Czas pogłosu [s]					
	1,75 m od zielonej ściany	1,75 m od butiku 1	1,75 m od butiku 2	1,75 m od ściany po przeciwległej stronie zielonej ściany (lewa strona)	1,75 m od ściany po przeciwległej stronie zielonej ściany (prawa strona)	w części centralnej galerii
50	2,11	3,50	3,46	4,77	4,88	3,74
63	2,43	4,14	4,11	4,42	4,56	3,93
80	2,38	4,16	4,22	4,56	4,17	3,90
100	2,47	4,43	4,51	4,92	5,11	4,29
125	2,52	4,08	4,00	4,11	4,66	3,87
160	2,35	3,75	3,63	3,79	3,92	3,49
200	2,08	3,60	3,59	4,03	4,52	3,56
250	1,95	3,42	3,32	3,93	4,11	3,35
315	2,05	3,71	3,52	4,31	4,56	3,63
400	2,17	4,05	4,11	4,75	5,12	4,04
500	2,18	3,73	3,62	4,09	4,65	3,65
630	2,26	4,13	3,86	4,73	4,90	3,98
800	2,20	3,99	3,88	4,58	4,75	3,88
1000	2,36	3,65	3,72	4,57	4,74	3,81
1250	2,32	3,52	3,13	4,40	4,57	3,59
1600	2,25	3,32	3,07	4,13	4,30	3,41
2000	2,16	3,01	2,94	3,69	3,86	3,13
2500	2,05	2,68	2,77	3,26	3,43	2,84
3150	1,86	2,29	2,42	2,85	3,02	2,49
4000	1,65	1,83	2,38	2,35	2,52	2,15
5000	1,40	1,35	1,77	1,89	2,06	1,69

Temperatura podczas badań wynosiła 25,2°C, wilgotność względna 58,5%, max czas pogłosu 5,12 s

waż po zainstalowaniu zielonej ściany 305 osób wyemituje taki sam hałas pogłosowy, jak 144 osoby przed zainstalowaniem zielonej ściany. Oznacza to, że zielone ściany mogą w znacznym stopniu przyczynić się do ograniczenia hałasu pogłosowego pomieszczeń przeznaczonych do komunikacji słownej, co jest kluczowym elementem zmierzającym do zapewnienia w nim odpowiedniego poziomu komfortu akustycznego.

Literatura

[1] Blanc Patrick. 2012. *The Vertical Garden: From Nature to the City*. New York. W W Norton & Company Incorporated, 192.
 [2] Evert Ph J de Ruyter. 2012. Lombard effect, speech communication and the design of large (public) spaces. Aalborg: EAA Forum Acusticum, 1577.
 [3] Kłosak Andrzej. 2011. *Akustyka wewnątrz*. Kraków. Małopolska Okręgowa Izba Architektów RP, 24.
 [4] Kosiński Wojciech. 2011. *Pionowe ogrody – Idea, technologia i estetyka na nowy wiek*. Kraków. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, 105.
 [5] PN-EN ISO 11654:1999 Elementy dźwiękochłonne stosowane w budownictwie.
 [6] PN-EN ISO 3382:2001 Akustyka – Pomiar czasu pogłosu pomieszczenia w powiązaniu z innymi parametrami akustycznymi.
 [7] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar czasu pogłosu pomieszczeń. Część 1. Pomieszczenia specjalne.
 [8] WHO. 2010. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: WHO, 2.

Przyjęto do druku: 30.07.2019 r.