

Ocena skuteczności ekranu akustycznego z bramą wjazdową

Karol Pereta¹, Lucjan Janas², Rafał Klich³

¹ *Katedra Mechaniki Konstrukcji, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, e-mail: kpereta@prz.edu.pl*

² *Zakład Dróg i Mostów, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, e-mail: ljanas@prz.edu.pl*

³ *Wydziałowe Laboratorium Badań konstrukcji, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Rzeszowska, e-mail: rklich@prz.edu.pl*

Streszczenie: Jednym z największych problemów ochrony przed hałasem komunikacyjnym jest prawidłowe zaprojektowanie ekranów akustycznych, ich lokalizacji, długości i wysokości. W artykule przedstawiono doświadczalną i obliczeniową ocenę skuteczności ekranu akustycznego, chroniącego budynek mieszkalny jednorodzinny przed hałasem drogowym. Skuteczność ekranu oceniono metodą pośrednią, wykonując pomiary in-situ. Obliczenia wykonano trzema metodami. Wyniki pomiarów i obliczeń porównano. Wykazano stosunkowo małą skuteczność ekranowania hałasu, wynikającą przede wszystkim z niedostatecznej wysokości i długości ekranu. Na podstawie wywiadu środowiskowego można jednak stwierdzić, że budowa ekranów nawet o niewielkiej skuteczności ma sens.

Słowa kluczowe: ekran akustyczny, hałas komunikacyjny, skuteczność ekranów

1. Wstęp

W ciągu ostatnich dziesięcioleci obserwowany szybki rozwój motoryzacji spowodował zwiększenie zanieczyszczenia środowiska hałasem i wibracjami. Zjawisko to jest szczególnie dokuczliwe w większych skupiskach ludzi, gdzie rozwój jest znacznie szybszy oraz w pobliżu głównych arterii komunikacyjnych. Zgodnie z [1] ocenia się, że głównym składnikiem nadmiernego poziomu dźwięku w Polsce jest hałas komunikacyjny, w szczególności drogowy, spychający na drugi plan hałas przemysłowy. Szacunkowo ok. 13 mln osób zamieszkujących Polskę jest narażonych na nadmierne działanie hałasu a co trzeci Polak ma problemy ze słuchem i problem ten dotyczy coraz młodszych ludzi. W ostatnich kilku latach zbudowano wiele ekranów akustycznych wzdłuż dróg, między jezdniami a zabudową mieszkaniową. Ze względu na konieczność wjazdu na posesje, ekrany wyposażane są w bramy wjazdowe. Taki właśnie przypadek rozważono w niniejszym artykule.

W projektowaniu ekranów akustycznych są często stosowane analityczne metody obliczeń skuteczności jak np. Rettingera, Meakawy i Rathego. Celem pracy jest ocena skuteczności wybranego ekranu oraz analiza przydatności ww. metod obliczeniowych do projektowania ekranu o określonej konstrukcji, geometrii i lokalizacji.

2. Opis badanego ekranu

Przedmiotem badań był ekran akustyczny, pochłaniająco – odbijający, o długości 104 m i wysokości 3.4 m, zlokalizowany wzdłuż drogi krajowej o średnim dobowym natężeniu ruchu 18.660 pojazdów. Droga znajduje się na nasypie o wysokości ok. 1.2 m. Głównym celem budowy ekranu była ochrona akustyczna budynku jednorodzinnego, usytuowanego w odległości 35.6 m od krawędzi jezdni. Ekran został wyposażony w przesuwaną bramę z Plexiglass'u, umożliwiającą wjazd na posesję (rys. 1). Brama jest o 0.3 m niższa od ekranu, a między spodem bramy a drogą dojazdową do posesji stwierdzono szczelinę o wysokości ok. 0.15 m.



Rys. 1. Badany ekran akustyczny: a) widok od strony drogi, b) brama wjazdowa i chroniony budynek

Ekran wykonano z płyt betonowych o gr. 90 mm i dźwiękochłonnej wykładziny ze żrętkobetonu gr. 110 mm. Do produkcji wykładziny zastosowano mechanicznie rozdrobnione kawałki drewna iglastego oraz zaprawę cementową.

3. Doświadczalna ocena skuteczności ekranu

Ze względu na brak możliwości pomiaru ciśnienia akustycznego w sytuacji „przed” instalacją istniejącego ekranu akustycznego, ocenę skuteczności wykonano metodą pomiaru pośredniego zgodnie z [2]. Szacunkowy poziom ciśnienia akustycznego „przed” instalacją ekranu wyznaczono poprzez wykonanie pomiaru w miejscu będącym równoważnikiem miejsca badań zasadniczych.

Czas trwania pomiarów przyjęto na podstawie przewidywanego zakresu zmienności poziomu dźwiękuzgodnie z [2]. Czas ten był równy 30 min.

3.1. Aparatura pomiarowa

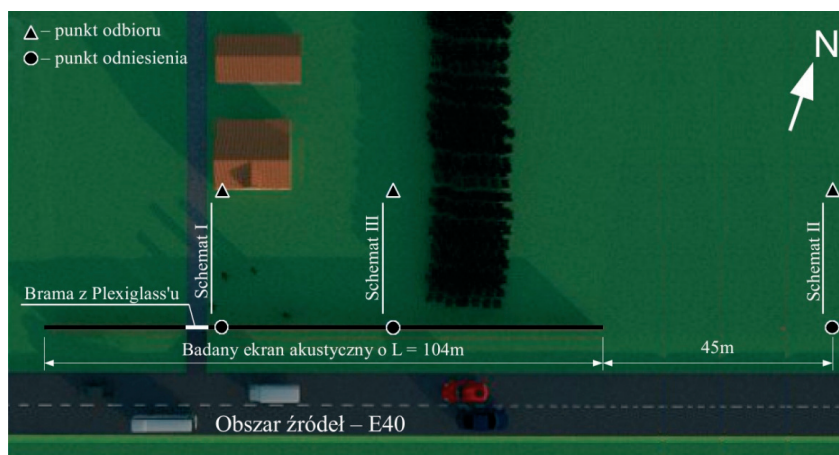
Do badań akustycznych użyto sprzęt firmy Brüel&Kjær, tj. dwukanałowy, ręczny miernik typu 2270, mikrofony typu 4189 z osłonami przeciwwietrznymi UA-0237, UA-1650 oraz statywy mikrofonowe (rys. 2). Warunki atmosferyczne mierzono przenośną stacją meteorologiczną HOBO U30-NRC wyposażoną w anemometr, higrometr, termometr i rejestrator.



Rys. 2. Aparatura pomiarowa: a) miernik B&K 2270, statyw i mikrofon w punkcie odniesienia, b) stacja meteorologiczna

3.2. Punkty i schematy pomiarowe

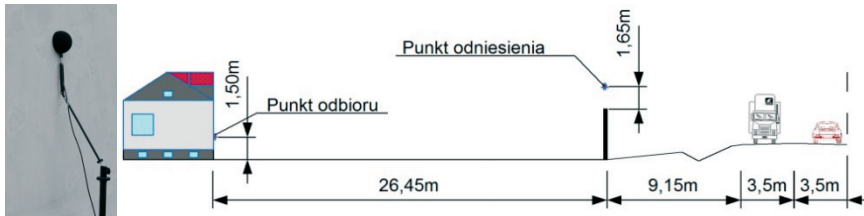
Na rys. 3 przedstawiono obszar objęty badaniami i rozmieszczenie punktów pomiarowych. Oznaczono również schematy pomiarowe.



Rys. 3. Obszar objęty badaniami

Pomiary przeprowadzono w trzech schematach:

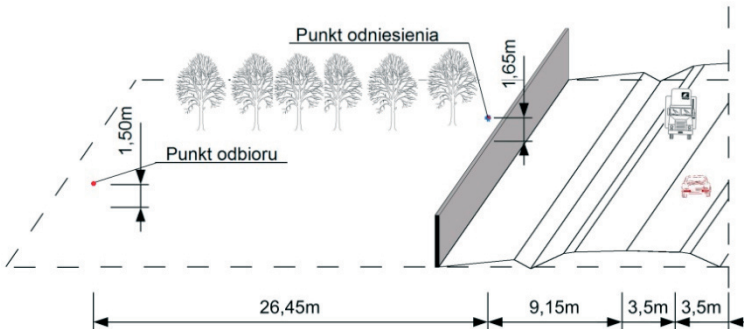
- schemat I w którym punkt odbioru znajdował się bezpośrednio przy elewacji budynku 1.50 m nad poziomem terenu, a punkt odniesienia 1.65 m nad ekranem akustycznym (rys. 4),
- schemat II to pomiary w obszarze porównawczym służącym określeniu poziomu dźwięku „przed” instalacją ekranu (obszar porównawczy wybrano zgodnie z [2]), punkt odbioru zlokalizowano w takiej samej odległości od źródła jak w schemacie I ale w miejscu, w którym nie było budynku (rys. 5),
- schemat III to pomiary w obszarze podlegającym ochronie przed hałasem, w miejscu gdzie nie było budynku; punkty pomiarowe usytuowano w takich samych odległościach od źródła jak w schematach I i II (rys. 6).



Rys. 4. Schemat pomiarowy I, lokalizacja punktu odbioru



Rys. 5. Schemat pomiarowy II



Rys. 6. Schemat pomiarowy III

3.3. Wyniki pomiarów

Maksymalna temperatura jaką zanotowano w czasie badań to 8,5 °C a minimalna 5,4 °C. Wilgotność względna powietrza wahała się w granicach 44 % do 68 %, prędkość wiatru nie przekroczyła 3.7 m/s. Zachmurzenie zostało zakwalifikowane do klasy pierwszej.

Poziom ciśnienia akustycznego rejestrowano w pasmach tercjowych, w zakresie od 50 Hz do 5 kHz. Zastosowano charakterystykę korekcyjną „A”. Rejestracja ciśnienia akustycznego w punkcie odniesienia i punkcie odbioru była równoczesna. Pomiary w każdym schemacie, zgodnie z [3], przeprowadzono 3-krotnie. Powtórzenia miały na celu eliminację błędów pomiarowych, ew. zbyt dużych różnic poziomów dźwięku oraz dokładne określenie równoważnych poziomów dźwięku w każdym ze schematów. Przykładowe widma hałasu w punkcie odniesienia i punkcie odbioru przedstawiono na rys. 7, rys. 8 i rys. 9.

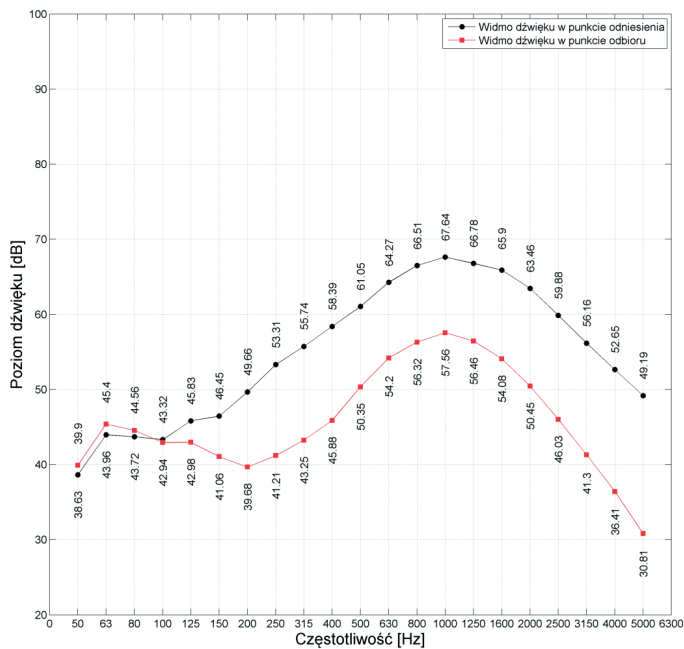
Zarejestrowane w pasmach tercjowych poziomy dźwięku przeliczono na równoważny poziom dźwięku stosując wzór:

$$L = 10 \log \left(\sum_{i=1}^{21} 10^{0,1L_i} \right) \quad (1)$$

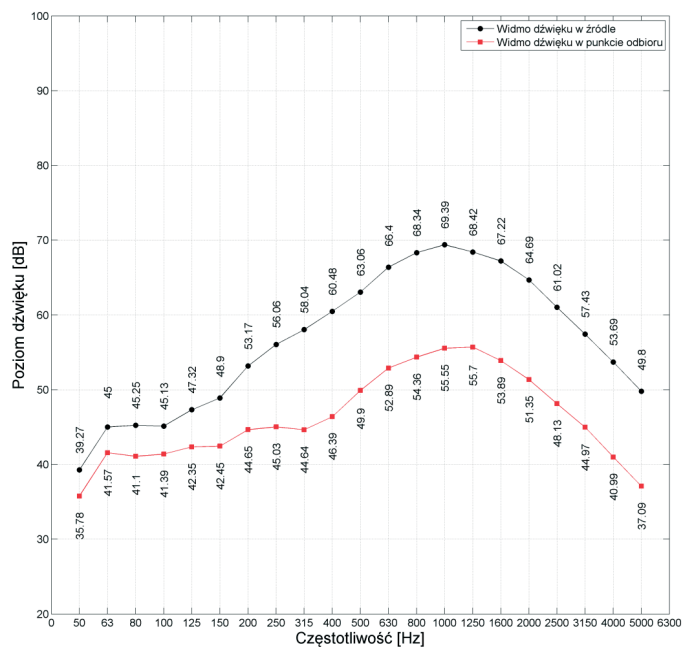
gdzie:

L_i – poziom dźwięku w paśmie tercjowym.

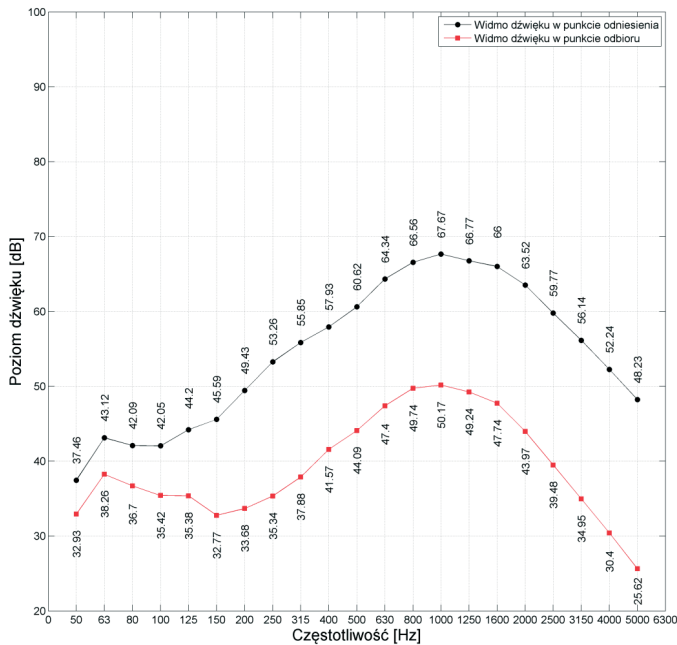
Wartości równoważnych poziomów dźwięku w poszczególnych punktach pomiarowych, dla poszczególnych pomiarów i schematów pomiarowych przedstawiono w Tab. 1.



Rys. 7. Widmo dźwięku w punkcie odniesienia i punkcie odbioru - schemat I



Rys. 8. Widmo dźwięku w punkcie odniesienia i w punkcie odbioru - schemat II



Rys. 9. Widmo dźwięku w punkcie odniesienia i w punkcie odbioru - schemat III

Tabela 1. Równoważne poziomy dźwięku w [dB] dla poszczególnych pomiarów i schematów pomiarowych

Nr pomiaru	Nr schematu pomiarowego					
	I		II		III	
	Punkt odniesienia ($L_{ref,AI}$)	Punkt odbioru ($L_{r,AI}$)	Punkt odniesienia ($L_{ref,B}$)	Punkt odbioru ($L_{r,B}$)	Punkt odniesienia ($L_{ref,AII}$)	Punkt odbioru ($L_{r,AII}$)
1	74.65	64.00	74.69	64.32	74.38	57.50
2	74.51	64.35	74.43	63.22	74.55	56.37
3	74.38	63.24	75.26	64.89	74.60	57.25

Równoważny poziom dźwięku w czasie odniesienia T , w każdym schemacie pomiarowym obliczono zgodnie z wzorem:

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^3 t_i \cdot 10^{0,1L} \right) \quad (2)$$

gdzie:

L – wartość równoważnego poziomu dźwięku

t_i – czas jednego pomiaru w [s], $t_i = 1800$ s,

T – czas odniesienia w [s], $T = 5400$ s.

Wyniki obliczeń przedstawiono w Tab. 2

Tabela 2. Równoważne poziomy dźwięku w [dB] dla poszczególnych schematów pomiarowych

Punkt odniesienia ($L_{ref,AI}$)	Nr schematu pomiarowego					
	I		II		III	
	Punkt odbioru ($L_{r,AI}$)		Punkt odniesienia ($L_{ref,B}$)	Punkt odbioru ($L_{r,B}$)	Punkt odniesienia ($L_{ref,AII}$)	Punkt odbioru ($L_{r,AII}$)
74.51	63.89		74.81	64.20	74.51	57.06

Różnice poziomów dźwięku w punkcie odniesienia i punkcie odbioru obliczono uwzględniając usytuowanie punktu odbioru, korzystając ze wzorów:

$$\Delta L_B = L_{ref,B} - (L_{rB} - C_r) = 74.81 - (64.20 - 0) = 10.61 \text{ dB},$$

$$\Delta L_{A1} = L_{ref,A1} - (L_{rA1} - C_r') = 74.51 - (63.89 - 6) = 16.62 \text{ dB},$$

$$\Delta L_{A2} = L_{ref,A2} - (L_{rA2} - C_r) = 74.51 - (57.06 - 0) = 17.45 \text{ dB},$$

gdzie: C_r i C_r' to współczynniki korekcyjne, przyjęte zgodnie z [2]:

- dla pola swobodnego w obszarze półkulistym: $C_r = 0 \text{ dB}$,
- dla punktu odbioru „na powierzchniach odbijających”: $C_r' = 6 \text{ dB}$.

Zmierzona pośrednio skuteczność ekranu D_{II}' wynosi:

$$\bullet \text{ na powierzchni odbijającej } D_{II1}' = \Delta L_{A1} - \Delta L_B = 16.62 - 10.61 = 6.01 \approx 6 \text{ dB},$$

$$\bullet \text{ dla pola swobodnego } D_{II2}' = \Delta L_{A2} - \Delta L_B = 17.45 - 10.61 = 6.84 \approx 7 \text{ dB}.$$

4. Obliczeniowe określenie efektywności ekranu

Miarą skuteczności akustycznej ekranu jest efektywność akustyczna ΔL_E , obliczana jako różnica pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego w sąsiedztwie obiektu chronionego przy braku ekranu L_1 i poziomem ciśnienia akustycznego w obecności ekranu L_2 :

$$\Delta L_E = L_1 - L_2 \quad (3)$$

Metody obliczeniowe określenia efektywności akustycznej opierają się na założeniu nieskończenie długiego ekranu w postaci cienkiej pionowej płyty. W analizowanym przypadku uwzględniono warunki atmosferyczne, w jakich wykonano pomiary. Średnią prędkość dźwięku V [m/s] skorygowano, uwzględniając rzeczywistą temperaturę powietrza, korzystając ze wzoru:

$$V = 331,5 + 0,6\Theta \quad (4)$$

gdzie:

Θ – temperatura powietrza w [°C], $\Theta = 6.90 \text{ °C}$.

Długości fal λ [m] dla częstotliwości w zakresie od 50 Hz do 5 kHz obliczono ze wzoru:

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (5)$$

gdzie:

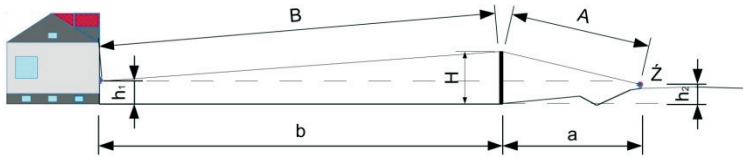
V – średnia prędkość dźwięku w powietrzu, f – częstotliwość [Hz].

Wyniki obliczeń przedstawiono w Tab. 3.

Tabela 3. Długość fali dźwiękowej w temperaturze powietrza 6.9 °C

f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	
λ [m]	6.713	5.328	4.196	3.356	2.685	2.098	1.678	1.343	1.066	0.839	
F [Hz]	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
λ [m]	0.671	0.532	0.419	0.336	0.268	0.209	0.168	0.134	0.106	0.084	0.067

Efektywność akustyczną ekranu obliczono w poszczególnych pasmach częstotliwości trzema metodami: Rettingera, Meakawy i Rathego [4]. Parametry geometryczne przedstawiono na rys. 10. Wartości parametrów są następujące: $h_2 = 1.25 \text{ m}$, $h_1 = 1.5 \text{ m}$, $a = 9.35 \text{ m}$, $b = 6.45 \text{ m}$, $H = 3.40 \text{ m}$, $A = 9.41 \text{ m}$, $B = 26.51 \text{ m}$.



Rys. 10. Parametry geometryczne badanego obiektu

Wyniki obliczeń zamieszczono w Tab. 4. W tabeli tej zamieszczono również efektywność określoną na podstawie pomiarów, obliczoną jako różnicę zmierzonych wartości poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie odbioru przy braku ekranu (schemat II) i w punkcie odbioru w obecności ekranu (schemat I i III).

Tabela 4. Obliczona i zmierzona efektywność akustyczna ekranu w poszczególnych pasmach częstotliwości [dB]

f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	
ΔL_{ERet}	9.42	10.22	10.22	11.00	11.76	12.50	13.19	13.85	14.50	15.10	
ΔL_{EMea}	5.62	5.77	5.97	6.18	6.44	6.79	7.16	7.60	8.12	8.74	
ΔL_{ERat}	6.83	7.03	7.27	7.52	7.80	8.14	8.48	8.87	9.32	9.82	
$\Delta L_{E(II-I)}$	1.88	2.17	2.54	4.45	5.37	7.39	10.97	9.82	7.39	6.51	
$\Delta L_{E(II-III)}$	2.85	3.31	4.40	5.97	6.97	9.68	10.97	9.69	6.76	4.82	
f [Hz]	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
ΔL_{ERet}	16.24	16.77	17.75	18.66	20.97	20.61	21.62	22.50	23.58	24.77	26.47
ΔL_{EMea}	9.38	10.12	10.95	11.78	12.65	13.65	14.58	15.53	16.52	17.55	18.52
ΔL_{ERat}	10.34	10.91	11.55	12.15	12.75	13.64	14.61	15.58	16.58	17.62	18.59
$\Delta L_{E(II-I)}$	5.55	4.69	4.04	3.99	5.24	5.81	6.90	8.10	9.67	10.58	12.28
$\Delta L_{E(II-III)}$	5.81	5.49	4.62	5.38	6.46	6.15	7.38	8.65	10.02	10.59	11.47

5. Podsumowanie i wnioski

Wyznaczona doświadczalnie skuteczność ekranu jest mała, rzędu 6 - 7 dB. Przyjęty współczynnik korekcyjny C_r uwzględniający zjawisko odbicia fali dźwiękowej wydaje się poprawnie opisywać to zjawisko fizyczne. Przyczyną tak niewielkiej skuteczności jest przede wszystkim zbyt mała wysokość i długość ekranu. Na skuteczność oczywiście ma również wpływ usytuowanie drogi na nasypie.

Porównanie efektywności w poszczególnych pasmach częstotliwości pozwala na stwierdzenie, że żadna z zastosowanych metod obliczeniowych nie daje wyników bliskich wynikom pomiarów. Żadna z zastosowanych metod nie pozwala uwzględnić bramy wjazdowej i często występujących przy bramach „mostków akustycznych” np. w postaci szczeliny. W projektowaniu ekranów z bramami konieczne jest więc stosowanie zaawansowanych metod obliczeniowych opartych np. na metodzie elementów brzegowych.

Mała skuteczność badanego ekranu skłania do postawienia pytania: czy budowa tego zabezpieczenia akustycznego miała sens? O odpowiedź na to pytanie poproszono mieszkańców chronionego budynku. Właściciel posesji stwierdził, że po wybudowaniu ekranu hałas w pomieszczeniach mieszkalnych odczuwalnie się obniżył. Stwierdził również, że bramę mimo jej dużej masy zamyka, ponieważ jest ciszej. Przyznał, że kilka razy w miesiącu brama pozostaje otwarta (np. wtedy gdy późno wraca z pracy) i wtedy hałas w budynku jest odczuwalnie większy. Żałuje, że ekran nie jest dłuższy i wyższy bo wtedy „byłoby ciszej”. Opinia mieszkańców jednoznacznie potwierdziła sens budowania ekranów, nawet jeśli nie są one doskonałe. Należy jednak dbać o to, aby ich skuteczność była wystarczająca i adekwatna do wydanych środków.

Literatura

- 1 Marczak P. Zagrożenie hałasem. Wybrane zagadnienia. Kancelaria Senatu, Warszawa 2012.
- 2 PN-ISO 10847:2002, Akustyka. Wyznaczanie "In Situ" skuteczności zewnętrznych ekranów akustycznych wszystkich rodzajów.
- 3 Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 czerwca 2001r. w sprawie wymagań w zakresie prowadzenia pomiarów w środowisku substancji lub energii przez zarządzającego drogą, linią kolejową, linią tramwajową, lotniskiem, portem (Dz. U. 2001 nr 140 poz. 824).
- 4 Zakrzewski T., Żuchowski R. Kompendium akustyki architektonicznej wraz z przykładami metod obliczeniowych. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2009.

Evaluation of efficiency of acoustic screen with gate

Karol Pereta¹, Lucjan Janas², Rafał Klich³

¹ *Department of Structural Mechanics, The Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszow University of Technology, e-mail: kpereta@prz.edu.pl*

² *Department of Roads and Bridges, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszow University of Technology, e-mail: ljanas@prz.edu.pl*

³ *Construction Research Center in the Department of Civil Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Rzeszow University of Technology, e-mail: rklich@prz.edu.pl*

Abstract: One of the biggest problems of traffic noise protection is the proper design of noise barriers, their location, length and height. An experimental and analytical efficiency method of traffic noise protection against traffic noise, in the case of a single-family building, has been presented in this paper. The efficiency of this screen has been evaluated by an indirect method. In this case research survey on site has been made. The calculations have been made with the use of three methods. The results of measurements and calculations have been compared. A low efficiency acoustic screen has been demonstrated, whereas its low efficiency mainly resulted from the low height and length. On the basis of the interviews with residents, it can be said that the construction of screens, even those of low efficiency, makes sense.

Keywords: acoustic screen, traffic noise, efficiency of the screens

