

Michał MARCHACZ\*  
Politechnika Śląska

## OCHRONA AKUSTYCZNA BUDYNKÓW MIESZKALNYCH ZLOKALIZOWANYCH W SĄSIEDZTWIE ARTERII KOLEJOWEJ

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono teoretyczne metody stosowane w procesie projektowania ochrony przeciwdźwiękowej budynków zlokalizowanych w sąsiedztwie trasy komunikacyjnej o dużym natężeniu ruchu oraz ponadnormatywnym poziomie hałasu. Zaprezentowane metody obliczeniowe zostały wykorzystane do wyznaczenia poziomu dźwięku w wypadku zastosowania ochrony akustycznej w formie ekranów przeciwdźwiękowych. W wyniku porównania uzyskanych doświadczalnie wartości poziomu hałasu dla pory dnia i nocy z wartościami normowymi uzyskano rozkłady przekroczeń wartości dopuszczalnych. Celem ochrony przeciwdźwiękowej budynków zlokalizowanych w sąsiedztwie kolejowej arterii komunikacyjnej zaproponowano różne warianty ekranowania akustycznego, pozwalające na obniżenie poziomu hałasu do wartości normatywnej. Przyjęty w obliczeniach, wyidealizowany model ekranu akustycznego wskazuje na przybliżony charakter obliczeń, które w przyszłości powinny być skorygowane z wynikami opartymi na pomiarach akustycznych.

## ACOUSTIC PROTECTION RESIDENTIAL OBJECTS LOCATED VICINITY OF TRAIN ARTERY

**Summary.** This paper presents theoretical methods of building sound protection in the vicinity of train artery in case over norm sound level and a lot traffic intensity. In text were presented calculation methods used to forecast sound levels after applied noise reducing devices. Based on presented in text permissible noise levels and values of noise levels for a time of the day and night, author determined over norm sound level areas. Concerning the buildings noise protection, to decrease the noise values to permissible noise levels, author suggests variant solutions of the noise barriers that are located in the vicinity of train artery (between the train artery and protected objects). Idealized model of noise barriers that is used in calculations, shows approximate form of calculations. These calculations might be adjusted in the future by sound level measurements.

\* Opiekun naukowy: Dr hab. Tadeusz Zakrzewski, prof. w Politechnice Śląskiej.

## 1. Ocena normatywna poziomu hałasu środowiskowego

Arterie komunikacyjne zlokalizowane w sąsiedztwie obiektów budowlanych zamieszkania zbiorowego, takich jak osiedla domów jednorodzinnych, wielorodzinnych, bloków itp. w wielu przypadkach stanowią źródła hałasu o dużym poziomie. Celem zapewnienia dobrego klimatu akustycznego w tego typu obiektach, poziom hałasu źródłowego należy zminimalizować do wartości normatywnej. Stopień zagrożenia środowiska hałasem komunikacyjnym ocenia się przez porównanie równoważnego poziomu hałasu dla zdyskredytowanego czasu ekspozycji  $L_{AeqT}$  z wartościami normatywnymi, podanymi w Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (DzU Nr 178, poz. 1841) [1] wg tabeli nr.1.

Tabela 1

Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku, powodowane przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez linie elektroenergetyczne oraz starty, lądowania i przeloty statków powietrznych

Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A w dB dla dróg lub linii kolejowych	
	pora dnia – przedział czasu odniesienia równy 16 godzin	pora nocy - przedział czasu odniesienia równy 8 godzin
a) Obszary A ochrony uzdrowiskowej b) Tereny szpitali poza miastem	50	45
a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży c) Tereny domów opieki d) Tereny szpitali w miastach	55	50
a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z sługami rzemieślniczymi c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe poza miastem d) Tereny zabudowy zagrodowej	60	50
Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych	65	55

## 2. Parametry oceny hałasu kolejowego

Hałas komunikacji kolejowej w przypadku pojedynczego źródła jest hałasem nieciągłym, występującym w czasie przemieszczania się pojazdu na określonym odcinku drogi. Ten typ

hałasu uważa się za szczególnie uciążliwy, zarówno ze względu na dużą wartość poziomu ciśnienia akustycznego, jak i tonalny charakter składowych występujących w widmie takiego hałasu. Stosowane metody obliczeniowe poziomu hałasu środowiskowego winny uwzględniać, w dość szerokim zakresie, wpływ czynników środowiskowych, od których zależy w mniejszym lub większym stopniu uciążliwość oddziaływania tego hałasu na środowisko [2,3]. Do podstawowych czynników kształtujących wielkość poziomu hałasu w otoczeniu linii kolejowych należy zaliczyć: rodzaj taboru kolejowego (pociągi osobowe, towarowe), rodzaj jednostek napędzających, konstrukcja i stopień zużycia szyn, rodzaj podłoża i konstrukcja podkładów, natężenie ruchu i prędkość jazdy, długość pociągów, warunki otoczenia (obiekty urbanistyczne, tłumienie gruntu), warunki meteorologiczne.

Do podstawowych parametrów oceny uciążliwości hałasu kolejowego zalicza się maksymalny poziom dźwięku A ( $L_{Amax}$ ) lub poziom ekwiwalentny ( $L_{Aeq}$ ). Poziom maksymalny określa się dla najdłuższego pociągu generującego największy hałas na danym odcinku toru.

### 3. Stosowane metody obliczeniowe

Metody obliczeniowe skuteczności ekranowania akustycznego opierają się na ogólnie znanych wzorach, opartych na badaniach empirycznych modeli ekranów i rozważaniach teoretycznych [5]. Do najczęściej stosowanych metod obliczeniowych efektywności akustycznej ekranu należą: metoda geometryczna, metoda Rettingera, metoda Meakawy. Ich wybór zależy od usytuowania źródła dźwięku względem obiektu chronionego.

#### 3.1. Metoda geometryczna

W pierwszym przypadku, gdy źródło dźwięku i obiekt chroniony znajdują się na tym samym poziomie, akustyczną efektywność ekranu można obliczyć opierając się na metodzie geometrycznej, wg wzoru [4]:

$$\Delta L_E = 10 \log(20X), \quad (1)$$

gdzie  $X$  – parametr geometryczny układu źródło dźwięku – ekran – obiekt chroniony.

W przypadku gdy spełniony jest warunek (najczęściej występujący w praktyce)  $a \geq h$  oraz  $b \geq a$ , wówczas parametr geometryczny wyznacza się ze wzoru:



$$X = \frac{h^2}{\lambda \cdot a}, \quad (2)$$

gdzie:  $a$  – odległość źródła od ekranu [m],  $h$  – wysokość ekranu [m],  $\lambda$  – długość fali dźwiękowej [m].

### 3.2. Metoda Rettingera

Według metody Rettingera, akustyczną efektywność ekranu można obliczyć wykorzystując wyrażenie [3]:

$$\Delta L_E = 10 \log[(0,5 - x)^2 + (0,5 - y)^2] - 3, \quad (3)$$

gdzie:  $x$ ,  $y$  – funkcje zależne od parametru geometrycznego „ $w$ ” układu źródła dźwięku – obserwator. Parametr geometryczny „ $w$ ” wyznacza się w zależności od położenia źródła względem obserwatora.

### 3.3. Metoda Meakawy

Według metody Meakawy efektywność akustyczną ekranu, dla wszystkich trzech przypadków usytuowania źródła dźwięku względem obserwatora, można wyznaczyć ze wzoru [4]:

$$\Delta L_E = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{\operatorname{tgh} \sqrt{2\pi|N|}} + 5, \quad (4)$$

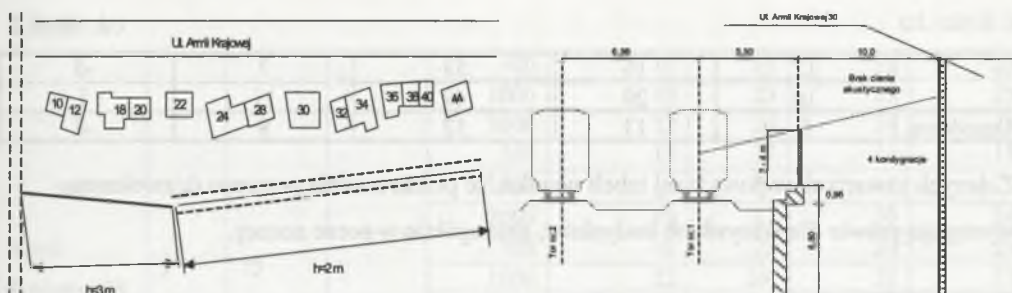
gdzie:  $N = \frac{2\delta}{\lambda}$  – liczba Fresnela,  $\delta = A + B - d$  ( $A$ ,  $B$ ,  $d$  – parametry geometryczne układu).

Dla porównania obliczenia efektywności ekranowania różnych wariantów ekranów wykorzystano opisane wyżej metody obliczeniowe, a jako wartość miarodajną przyjęto średnią arytmetyczną.

## 4. Plan sytuacyjny rozmieszczenia budynków

Zagrożone ponadnormatywnym poziomem hałasu obiekty usytuowane są w Chorzowie Batorym, przy ulicach Ogrodowej i Armii Krajowej. Przykładowo na rys. 1 przedstawiono usytuowanie budynków oraz propozycje lokalizacji ekranu przy ulicy Armii Krajowej.

Zgodnie z wytycznymi, zawartymi w [1], rozpatrywany obszar zakwalifikowany został jako tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego, gdzie dla pory dnia dopuszczalny poziom hałasu wynosi 60 dB, natomiast dla pory nocy 50 dB.



Rys. 1. Lokalizacja budynków względem planowanych ekranów akustycznych. Przykładowy przebieg traktacji kolejowej w sąsiedztwie budynku zlokalizowanego przy ul. Armii Krajowej 30

Fig. 1. Building and noise barriers localization. Demonstration outline of train lines and buildings located in Armii Krajowej 30 street

Linia kolejowa usytuowana przy wymienionych ulicach biegnie na wysokim akwedukcie, wg schematu pokazanego na rys. 1. Jest to sytuacja szczególnie uciążliwa ze względu na bezpośrednie oddziaływanie hałasu docierającego nawet do górnych kondygnacji budynków.

## 5. Analiza warunków akustycznych w sąsiedztwie budynków zagrożonych

Na podstawie przeprowadzonych pomiarów akustycznych przyjęto, zarówno dla pory dnia, jak i nocy,  $L_{Aeq} = 75$  dB w odległości  $a = 1,5$  m od toru skrajnego. W tab. 2 zestawiono odległości zagrożonych obiektów budowlanych od planowanego usytuowania ekranu akustycznego oraz wartości zmniejszenia poziomu hałasu wynikające z wpływu odległości.

Tabela 2

Parametry geometryczno-akustyczne układu źródło hałasu – ekran – budynek chroniony  
Geometric and acoustic data for source – barrier – receiver arrangement

Ulica	Nr budynku	Odległość budynku od ekranu [m]	Poziom hałasu przy elewacji budynku [dB(A)]	Przekroczenia poziomu dla pory dnia [dB]	Przekroczenia poziomu dla pory nocy [dB]
Armii Krajowej	44	7,7	58,5	1,5	-8,5
	40	6,5	62	-2	-12
	38	6,0	63	-3	-13
	36	5,5	65	-5	-15
	34	7,5	62	-2	-12
	32	10	58	2	-8
	30	11	56	4	-6
	26	10	58	2	-8
	24	15	56	4	-6
	22	15	57	3	-7
	20	17	55	5	-5
	18	16	54	6	-4
	16	25	50	10	0

cd. tabeli 2

	12	16	53	7	-3
	10	20	49	11	1
Ogrodowa	6	13	52	8	-2

Z danych zawartych w powyższej tabeli wynika, że przekroczenia poziomu dozwolonego występują prawie dla wszystkich budynków, szczególnie w porze nocnej.

## 6. Wyniki obliczeń teoretycznych efektywności ekranowania

Obliczenia zostały wykonane za pomocą programu komputerowego, w postaci odpowiednio spreparowanego arkusza kalkulacyjnego z elementami programowymi w języku VBA, kolejno: 1) metoda geometryczna, 2) metoda Rettingera, 3) metoda Meakawy, dla trzech częstotliwości fali dźwiękowej:  $f_1=500$  Hz;  $f_2=1000$  Hz;  $f_3=2000$  Hz oraz dwu wysokości  $h_1=2$  m;  $h_2=3$  m. Uzyskane w wyniku ekranowania akustycznego wartości obniżenia poziomu dźwięku dotyczą budynków nr: 34, 36, 38, 40, ze względu na najbardziej niekorzystne usytuowanie względem źródła dźwięku (tab. 3). Następnie wyznaczono wartości średnie (tab. 4).

Tabela 3  
Wartości obniżenia poziomu dźwięku w wyniku ekranowania akustycznego  
Values of noise level reduce by noise barriers using

Lokalizacja	Ilość kondygnacji	$L_{Aeq}$ dB	Metoda	Częstotliwość Hz	Efektywność ekranowania $\Delta L_E$ dB		Całkowite obniżenie poziomu hałasu w dB	
					2m	3m	2m	3m
Armii Krajowej 34	3	75	1	500	13	17	16	19
				1000	16	20	19	22
				2000	19	23	22	25
			2	500	19	22	21	25
				1000	22	25	24	28
				2000	25	28	27	31
			3	500	16	19	18	22
				1000	19	22	21	25
				2000	22	25	24	28
Armii Krajowej 36	3	75	1	500	13	17	16	19
				1000	16	20	19	22
				2000	19	23	22	25
			2	500	19	23	21	25
				1000	20	26	24	28
				2000	25	29	27	32



cd. tabeli 3

			3	500	16	19	18	22
				1000	19	23	21	25
				2000	22	26	24	28
Armii Krajowej 38	3	75	1	500	13	17	14	18
				1000	16	20	17	21
				2000	19	23	20	24
			2	500	19	22	20	23
				1000	22	26	22	27
				2000	25	27	26	28
			3	500	16	19	17	20
				1000	19	22	20	23
				2000	22	25	23	26
Armii Krajowej 40	3	75	1	500	13	17	15	18
				1000	16	20	18	21
				2000	19	23	21	24
			2	500	19	22	20	24
				1000	21	25	23	27
				2000	24	28	26	30
			3	500	16	19	18	22
				1000	19	22	21	25
				2000	22	25	24	28

Tabela 4

Średnie wartości obniżenia poziomu dźwięku w wyniku ekranowania akustycznego  
Average values of noise level reduce by noise barriers using

Lokalizacja	Ilość kondygnacji	L <sub>Aeq</sub> dB	Metoda	Spadek poziomu hałasu $\Delta L_E$		Całkowite obniżenie poziomu hałasu w dB	
				2m	3m	2m	3m
Armii Krajowej 34	3	75	1	16	20	19	22
			2	22	25	24	28
			3	19	22	21	25
Armii Krajowej 36	3	75	1	16	20	16	20
			2	22	26	22	26
			3	19	23	19	23
Armii Krajowej 38	3	75	1	16	20	17	21
			2	22	25	23	26
			3	19	22	20	23
Armii Krajowej 40	3	75	1	16	20	18	21
			2	22	25	23	27
			3	19	22	20	24

## 7. Uwagi i wnioski końcowe

Obliczenia wykonane trzema odmiennymi metodami wykazują dość znaczące różnice wyników. Autor, w celu lepszej poprawności wyniku, proponuje przyjąć jako metodykę postępowania przeprowadzanie obliczeń więcej niż jedną metodą i uśrednienie rezultatów

obliczeń. Wyidealizowany model ekranu akustycznego, stosowany w metodach obliczeniowych wskazuje na przybliżony charakter obliczeń, które powinny być w przyszłości skorygowane wynikami opartymi na pomiarach akustycznych, w celu weryfikacji stopnia imperfekcji modeli obliczeniowych. Cechy strukturalne zastosowanego rodzaju ekranu akustycznego, a także charakterystyka terenu, na którym dany ekran jest umiejscawiany mogą znacząco wpłynąć na końcową efektywność ekranowania. Ponadto, ze względu na różnice wyników pomiędzy metodami obliczeniowymi należy przyjmować duży zapas bezpieczeństwa dla obniżenia ryzyka niespełnienia wymogów stawianych projektowanemu rozwiązaniu.

## LITERATURA

1. Rozporządzeniu Ministra Środowiska z dnia 29 lipca 2004 r. w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (DzU Nr 178, poz. 1841).
2. Zakrzewski T.: Metody prognozowania hałasu komunikacyjnego, Materiały konferencyjne, Konferencja Naukowo-Techniczna, Gliwice 2000.
3. Lebidowska B.: Hałas wokół autostrad. Metody prognozowania. Monografie, Pol. Łódzka, Łódź 1988.
4. Engel Z., Sadowski J., Stawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: Ekran akustyczny, AGH, Kraków 1990.
5. Engel Z.: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem, PWN, Warszawa 1993.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Henryk Nowak