

Michał MARCHACZ\*

Politechnika Śląska

## OCENA EFEKTYWNOŚCI AKUSTYCZNEJ EKRANÓW ZLOKALIZOWANYCH W SĄSIEDZTWIE TRASY KOLEJOWEJ

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono teoretyczne metody obliczeniowe stosowane do prognozowania skuteczności akustycznej ekranów w sąsiedztwie arterii komunikacyjnych. Na podstawie przytoczonych metod obliczeniowych zestawiono następnie wyniki obliczeń skuteczności ekranowania dla wydzielonego obszaru terenu, w którym zlokalizowane są obiekty mieszkalne narażone na bezpośrednie działanie hałasu kolejowego. Uwzględniając następnie wyniki pomiarów rozkładu poziomu hałasu w sąsiedztwie toru kolejowego oraz tła akustycznego, za pomocą programu SoundPLAN sporządzona została mapa akustyczna terenu zagrożonego z uwzględnieniem budynków. Porównanie uzyskanych wyników teoretycznych oraz doświadczalnych pozwoliło na ocenę przydatności stosowanych metod teoretycznych oraz stopnia zagrożenia nadmiernym hałasem budynków zlokalizowanych w bliskim sąsiedztwie linii kolejowej.

## ASSESSMENT EFFECTIVENESS OF NOISE BARIERS LOCATED VICINITY OF TRAIN ARTERY

**Summary.** This paper presents theoretical calculation methods using to forecast sound levels in the vicinity of line of communication. Based on presented in text calculation methods, author calculated and compared results. Next, using sounds levels background measurements in environment and sound levels detected by receivers vicinity of train artery, author generated acoustic map of endangered area using program SoundPLAN. Comparison theoretical and experimental values can be helpfully to assessment usefully these methods and level of risk overdose sound on this area.

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

## 1. Dopuszczalne poziomy dźwięku w środowisku

Przy ustalaniu wartości dopuszczalnych poziomu hałasu w środowisku zostały uwzględnione następujące czynniki wpływające na uciążliwość oddziaływania hałasu: przeznaczenie terenu, funkcja użytkowa zlokalizowanych na tym terenie budynków, rodzaj hałasu występującego na danym terenie. Ponadto, wartości dopuszczalne zostały zróżnicowane ze względu na porę dnia, którą dzieli się na dzień od godz. 6<sup>00</sup>=22<sup>00</sup> i noc od 22<sup>00</sup>=6<sup>00</sup>. Przy czym ze względu na rodzaj hałasu wyróżnia się odrębnie hałas komunikacyjny, hałas pochodzący od pozostałych źródeł, w tym hałas przemysłowy, instalacyjny oraz hałas lotniczy. Zróżnicowanie to wynika głównie z uciążliwości oddziaływania tych hałasów na człowieka.

W tabeli 1 przedstawiono dopuszczalne poziomy dźwięku A hałasu środowiskowego wg rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 29. VII. 2004 (DzU z roku 2004, nr 178, poz. 1841), z wyłączeniem hałasu lotniczego, którego dopuszczalne wartości podane zostały w odrębnej tabeli.

Tabela 1

Dopuszczalne poziomy dźwięku A na terenie zabudowanym, wynikające z występowania hałasu środowiskowego, z wyjątkiem hałasu lotniczego, wg rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 29. VII. 2004 (DzU z roku 2004, nr 178, poz. 1841)

Przeznaczenie terenu	Dopuszczalny poziom hałasu wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A			
	drogi lub linie kolejowe		pozostałe obiekty i grupy źródeł hałasu	
	pora dnia	pora nocy	pora dnia	pora nocy
a. Obszary A ochrony uzdrowiskowej b. Tereny szpitali poza miastem	50	40	40	35
a. Tereny wypoczynkowo-rekreacyjne poza miastem b. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej c. Tereny zabudowy związane ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży d. Tereny domów opieki e. Tereny szpitali w miastach	55	45	50	40
a. Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b. Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej z usługami rzemieślniczymi c. Tereny zabudowy zagrodowej	60	50	55	45
Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców ze zwartą zabudową mieszkaniową i koncentracją obiektów administracyjnych, handlowych i usługowych	65	55	55	45



Sposób oceny hałasu zewnętrznego w środowisku jest zagadnieniem trudnym ze względu na zmienność hałasu w funkcji czasu. W związku z tym hałas oceniany jest przez poziom równoważny, odnoszący się do całej doby, oraz zależne od pory nocy i dnia.

## 2. Stosowane metody obliczeniowe

Ocena skuteczności ekranowania akustycznego może być przeprowadzona przy użyciu wielu metod obliczeniowych. Stopień złożoności stosowanej metody wpływać może w sposób wyraźny na uzyskany wynik. Dokładność metody obliczeniowej zależy między innymi od uwzględnienia takich parametrów, jak czynniki środowiskowe (można tu zaliczyć nie tylko aspekty związane ze zmiennością warunków atmosferycznych, a więc kierunku wiatru i jego siły czy wpływu opadów atmosferycznych na propagację dźwięku w przestrzeni, ale również geometrię terenu i dokładność jej odwzorowania), rodzaj modelu obliczeniowego przyjętego do obliczeń, dokładność odwzorowania źródła dźwięku (dla źródeł dźwięku związanych z trasami komunikacyjnymi oraz liniami kolejowymi będą to parametry związane z natężeniem strumienia pojazdów, np. pociągów, ich prędkościami przejazdu, rodzajem pojazdu (ze względu na tonaż, przeznaczenie pojazdu i zastosowane rozwiązania napędowe)) oraz dodatkowo, w przypadku pociągów, długość składu kolejowego. Autor w opracowaniu skupił się na rozpatrzeniu i porównaniu trzech metod obliczeniowych o różnym stopniu skomplikowania oraz dokładności modelu, w celu zbadania skali rozbieżności w zależności od zastosowanego modelu obliczeniowego. Pierwsza jest metodą starszą, mocno uproszczoną, natomiast dwie pozostałe metody w pełni wykorzystują wsparcie modelowania komputerowego, jednocześnie uwzględniając wiele najważniejszych cech geometryczno-środowiskowych wybranego, rozpatrywanego obszaru.

Według metody Maekawy, efektywność akustyczną ekranu dla wszystkich trzech przypadków usytuowania źródła dźwięku względem obserwatora można wyznaczyć ze wzoru [2, 3]:

$$\Delta L_E = 20 \log \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{\operatorname{tgh}\sqrt{2\pi|N|}} + 5 \quad (1)$$

gdzie:  $N = \frac{2\delta}{\lambda}$  – liczba Fresnela,  $\delta = A + B - d$

Z kolei Niemiecka Kolej Główna (Deutsche Bundesbahn) stworzyła metodę SCHALL 03. Została ona zaimplementowana jako jeden z modułów w programie SoundPLAN na podstawie wersji z 1990 roku. Poziom emisji dźwięku opiera się na następującej formule:

$$L_{m,E} = 10 * \log[S10^{(0,1*(51+DFz+DD+DL+DV))} + D_{Tt} + D_{Br} + D_{LC} + D_{Ra}] \quad (2)$$

Podstawowym poziomem dźwięku dla pojedynczego pociągu jest wartość 51 dB, natomiast pozostałe elementy równania uwzględniają takie parametry, jak rodzaj pociągu, jego długość, prędkość, rodzaj hamulców, rodzaj trasy, występowanie wiaduktów oraz inne [4].

Metodę RLS 90 wprowadzono w Niemczech w zastępstwie metody RLS 81 (norma DIN 18005 dotycząca hałasu drogowego jest prawie identyczna jak RLS 81). RLS 90 ustanawia specyficzne standardy techniczne i procedury pomiarowe do przewidywania rozchodzenia się hałasu drogowego. [5]

Standard obliczeniowy składa się z dwóch osobnych modeli (model źródła oraz model rozprzestrzeniania się hałasu). Ponieważ model LRS 90 dotyczy hałasu drogowego, w celu możliwości porównania różnych metod obliczeniowych model źródła hałasu kolejowego został zastąpiony przez zastępcze źródło liniowe (oparte na metodzie zgodnej z normą ISO 9613 – 2) w taki sposób, aby w punkcie referencyjnym zlokalizowanym w odległości 10 metrów od geometrycznego środka linii kolejowej znajdującej się bliżej rozpatrywanych zabudowań, poziom dźwięku, zarówno dla modelu kolejowego, jak i liniowego, osiągał tę samą wartość – 70 dB.

### 3. Proces tworzenia mapy akustycznej

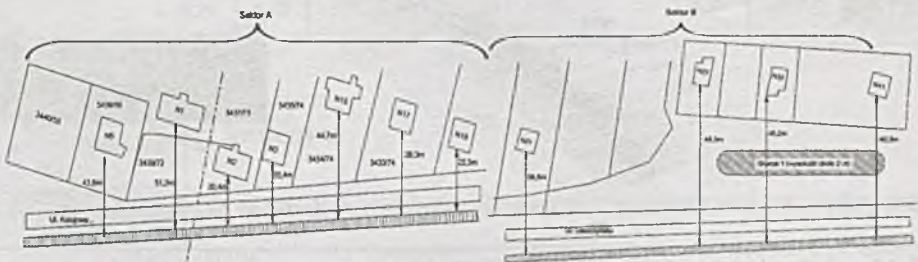
W przeciwieństwie do metody Maekawy, która jest stosunkowo uproszczoną metodą przybliżonego wyznaczenia skuteczności ekranowania, metody SCHALL 03 oraz RLS 90, dzięki szerokiemu wspomaganium komputerowemu, pozwalają poszerzyć możliwy zakres opracowania. W praktyce sprowadza się to do wygenerowania mapy akustycznej analizowanego obszaru. Autor posłużył się pakietem programowym SoundPLAN, który umożliwia tworzenie map akustycznych, uwzględniając w obliczeniach wiele dostępnych modeli obliczeniowych. Uproszczona procedura tworzenia mapy hałasu, przedstawiona na przykładzie programu SoundPlan, powinna wyglądać następująco.



Podstawowym elementem jest cyfrowy model terenu, stworzony np. na podstawie aktualnych map geodezyjnych danego obszaru. Następnie na tak utworzony model, uwzględniający strukturę wysokościową terenu, należy nałożyć kolejne elementy w postaci budynków (wraz z danymi wysokościowymi, np. ilością kondygnacji), innych elementów osłonowych (np. ścian, murów czy ekranów akustycznych) oraz źródło dźwięku (wymagane dane wejściowe w zależności od rodzaju źródła). Tak wykonany i zespolony w całość model obliczeniowy należy przeliczyć, wybierając wcześniej jedną z powyżej zaznaczonych metod obliczeniowych. Ostatnim etapem jest graficzna obróbka wyników – wygenerowanie mapy akustycznej danego obszaru.

#### 4. Plan sytuacyjny rozmieszczenia obiektów

Analizowany obszar znajduje się w miejscowości Kamień, położonej niedaleko miasta Czerwionka Leszczyny. Jest zlokalizowany w bezpośrednim sąsiedztwie linii kolejowej Zabrze Makoszowy - Czerwionka Leszczyny, składającej się z dwóch torowisk oraz toru bocznicy (pominiętego w dalszych rozważaniach). Teren jest zróżnicowany wysokościowo, natomiast schematyczne rozmieszczenie budynków na podstawie mapy geodezyjnej terenu przedstawiają poniższe rysunki. Sektor A obejmuje budynki umiejscowione na tej samej wysokości co linia kolejowa (ze zróżnicowaniem około +/- 0,5 m). Sektor B to obszar, gdzie linia kolejowa znajduje się w stosunku do budynków o 1,5÷2,5 m niżej.



Rys. 1. Schemat rozmieszczenia budynków względem linii kolejowej

Fig. 1. Outline layout buildings and train artery

W tabeli 2 zestawiono odległości budynków od planowanego usytuowania ekranu akustycznego.

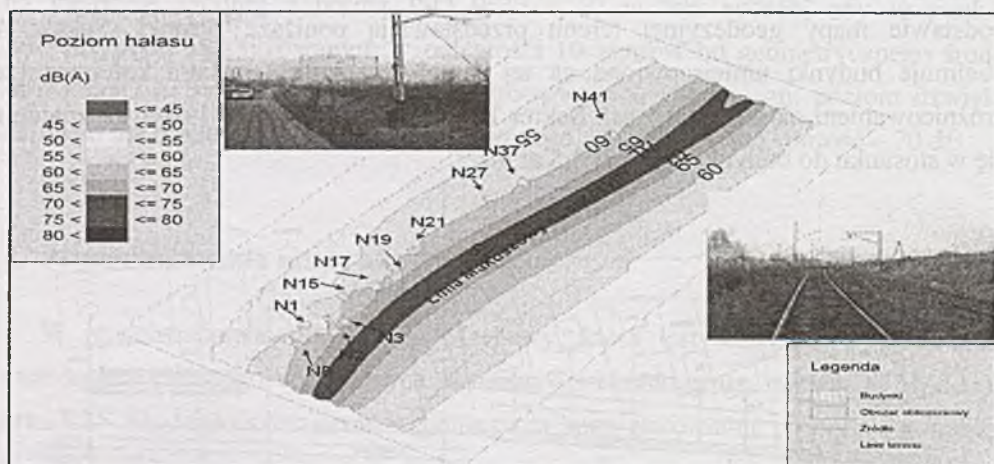
Tabela 2

Odległości budynków mieszkalnych  
od planowanego umiejscowienia ekranu akustycznego

Nr Budynku	N5	N1	N2	N3	N15	N17	N19	N21	N27	N37	N41
Odległość b, [m]	43,8	51,2	20,4	20,4	44,7	28,3	22,3	36,5	49,6	45,2	40,5

## 5. Ocena skuteczności ekranu

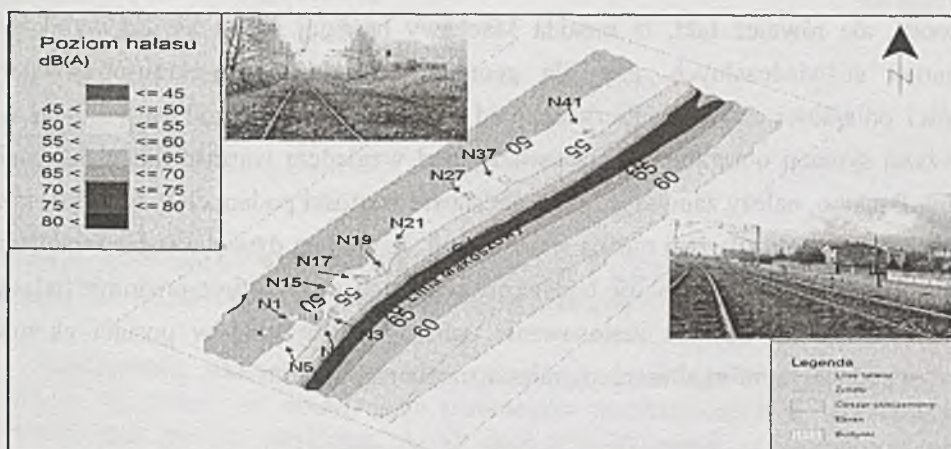
Na podstawie przedstawionych powyżej metod obliczeniowych (SHALL 03 oraz RLS 90) wygenerowana została mapa akustyczna w dwóch wariantach: bez ekranu akustycznego (rys. 2) oraz po zastosowaniu ekranu akustycznego o wysokości 3,5 m (rys. 3). Ponadto, obliczone zostały poziomy hałasu w punktach znajdujących się bezpośrednio na elewacjach budynków dla dwóch wysokości (pierwsza na terenie, druga 4 m ponad terenem). Podobne obliczenia przeprowadzono metodą Maekawy również dla dwóch wysokości. Zbiorcze zestawienie wyników zaprezentowano w tabeli 3. Obliczenia wykonano dla częstotliwości  $f = 500$  Hz, przyjmując ją jako reprezentatywną średnią umożliwiającą porównanie wyników.



Rys. 2. Mapa hałasu bez uwzględnienia ekranu akustycznego

Fig. 2. Noise map without acoustic screen





Rys. 3. Mapa hałasu z uwzględnieniem ekranu akustycznego o wysokości 3,5 m  
 Fig. 3. Noise map with a 3,5 m high acoustic screen

Tabela 3

Zestawienie wyników obliczeń efektywności ekranowania metodą Maekawy  
 (M z K – źródło kuliste, M z L – źródło liniowe) SHALL 03, RLS 90

Nr Budynku	N5	N1	N2	N3	N15	N17	N19	N21	N27	N37	N41
Odl. do ekranu [m]	43,8	51,2	20,4	20,4	44,7	28,3	22,3	36,5	49,6	45,2	40,5
Wys.wzgl.toru (311)	0,47	0,83	-0,13	-0,07	0,62	0,53	0,42	0,8	2,18	2,25	2,18
M z K	h = 0	18,7	18,6	19,0	19,0	18,7	18,8	18,9	18,7	18,5	18,6
M z L		11,8	11,8	12,0	12,0	11,8	11,9	12,0	11,9	11,8	11,8
SHALL 03		11,29	9,51	11,25	10,2	10,15	9,97	10,06	9,46	7,13	6,87
RLS 90		8,23	6,43	7,16	6,41	7,04	6,01	6,18	5,61	3,68	4,79
M z K	h = 4	18,4	18,6	18,5	18,5	18,5	18,6	18,6	18,6	18,6	18,7
M z L		11,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8
SHALL 03		12,43	11,31	13,63	13,0	12,0	12,4	12,64	11,93	10,1	10,06
RLS 90		9,39	8,43	9,7	9,15	8,8	8,49	8,69	8,09	6,69	6,45

## 6. Wnioski i uwagi końcowe

Wyniki zestawione w tabeli 3 wskazują na znaczne rozbieżności pomiędzy metodą Maekawy a pozostałymi dwoma metodami obliczeniowymi, co może być związane z rodzajem źródła dźwięku. Po zmianie liczby 20 we wzorze Maekawy, co przez analogię odpowiada sytuacji propagacji dźwięku jak dla źródła punktowego, na liczbę 10 można zauważyć, że wyniki bardziej zbliżają się do wartości uzyskanych metodami obliczeniowymi, gdzie źródło dźwięku jest źródłem liniowym. Nadal można dostrzec rozpiętości rzędu 3 dB w stosunku do pozostałych metod obliczeniowych. Wpływ na ten fakt może mieć nie tylko uproszczony model obliczeniowy w przypadku metody

pierwszej, ale również fakt, iż metoda Maekawy bardziej zbliża się do wyników pomiarów doświadczalnych, gdy dla geometrii układu źródło-ekran-obserwator wartości odległości źródła i obserwatora od ekranu są mniejsze od zaistniałych w powyższej sytuacji oraz zbliżają się bardziej pod względem wartości do wysokości ekranu. Ponadto, należy zauważyć, iż na podstawie wartości podanych w tabeli 1 oraz stworzonej mapy akustycznej można wnioskować, że poziom dźwięku w porze nocnej zostanie przekroczony. Większość budynków znajduje się w strefie o poziomie hałasu pomiędzy 50 a 55 dB, ale zastosowanie ochrony akustycznej w postaci ekranu znacznie podnosi komfort akustyczny mieszkańców tego terenu.

## BIBLIOGRAFIA

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.: Akustyka Budowlana. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1996.
3. Engel Z.: Ekran akustyczny. AGH, Kraków 1990.
4. Braunstein & Berndt GmbH: SoundPLAN Handbook. 2005
5. Braunstein & Berndt GmbH: SoundPLAN Charter 6 – Noise/Acoustics. 2005.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Piotr Klemm