

dr inż. Lucjan Janas^{1)*}

ORCID: 0000-0001-7235-8878

mgr inż. Rafał Klich¹⁾

ORCID: 0000-0002-0136-7790

dr inż. Rafał Żuchowski²⁾

ORCID: 0000-0002-0110-0500

Field tests of an acoustic screen with a diffraction device

Badania poligonowe ekranu akustycznego z nakładką dyfrakcyjną

DOI: 10.15199/33.2025.08.21

Abstract: The article presents the results of field tests and the analysis of the effectiveness of a “green wall” acoustic screen with an octagonal diffraction device. Insertion loss was assessed by an indirect method. The “pre-installation” noise levels were measured at an equivalent location, next to the installed screen, where the terrain profile, reflective surfaces and ground surface did not change. An artificial, point and controlled sound source was used. In order to assess the effect of the diffraction device on the effectiveness of the screen, tests of the screen without the device were also carried out. The measurements were taken on the same day, under almost identical meteorological and acoustic conditions. In addition to experimental studies, numerical analysis was performed. Studies have shown that the diffraction device increases the effectiveness of the screen, especially at higher reception points, where the improvement was up to 6.8 dB. The results of measurements and calculations indicate a positive influence of the applied diffraction device on the effectiveness of the tested screen.

Keywords: acoustic screen; diffraction device; insertion loss

Noise barriers are one of the most commonly used methods of protection against road noise. The principles of their design have been discussed, e.g. in [1, 2], the results of tests of typical screens are presented e.g. in [3÷6], and the results of tests of screens with the use of multi-edge noise reducers in [7÷8].

Screens with diffraction devices raise many discussions and doubts. In the literature, we can find numerous theoretical studies on this type of solutions, but there are far fewer results of experimental research. Examples of theoretical considerations are presented in papers [7, 9] in which the operation of screens with overlays of different shapes was compared using computational methods. It has been shown by calculation that their use allows for a significant reduction in the height of the standard screen, but the conclusions have not been confirmed by experimental studies.

In addition, some of the proposed solutions (e.g. the Y-shaped devices) would be unreasonable in our environmental conditions, among others due to the additional snow and ice load and the high maintenance costs. Experimental studies of the screen with diffractor are discussed, for example, in the paper [10]. The “T” device was analyzed there. The conclusions pointed to the need for further research, but screens of this type did not become widespread. Studies of screens with octagonal diffractor are discussed in [11].

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki badań poligonowych i analizę skuteczności ekranu akustycznego typu „zielona ściana” z oktagonálną nakładką dyfrakcyjną. Skuteczność oceniono metodą pośrednią. Poziomy „przed instalacją” zmierzono w równoważnym miejscu, obok zainstalowanego ekranu, gdzie nie zmieniał się profil terenu, powierzchnie odbijające i powierzchnia gruntu. Zastosowano sztuczne, punktowe i kontrolowane źródło dźwięku. W celu oceny wpływu nakładki dyfrakcyjnej na skuteczność ekranu przeprowadzono także badania ekranu bez nakładki. Pomiary wykonano w tym samym dniu, w niemal identycznych warunkach meteorologicznych i akustycznych. Oprócz badań doświadczalnych przeprowadzono analizę numeryczną. Badania wykazały, że nakładka dyfrakcyjna zwiększa skuteczność ekranu, szczególnie w wyższych punktach odbioru, gdzie poprawa wyniosła do 6,8 dB. Zarówno wyniki pomiarów, jak i obliczeń, wskazują na pozytywny wpływ zastosowanej nakładki dyfrakcyjnej na efektywność badanego ekranu.

Słowa kluczowe: ekran akustyczny, nakładka dyfrakcyjna, skuteczność.

Ekran akustyczny to jedno z najczęściej stosowanych środków ochrony przed hałasem drogowym. Zasady ich projektowania zostały omówione np. w [1, 2], wyniki badań typowych ekranów przedstawiono np. w pracach [3÷6], a ekranów z zastosowaniem krawędziowych reduktorów hałasu w [7÷8]. Wiele dyskusji i wątpliwości wzbudzają ekrany z nakładkami dyfrakcyjnymi. W literaturze można znaleźć liczne opracowania teoretyczne dotyczące tego typu rozwiązań, ale zdecydowanie mniej jest wyników badań doświadczalnych. Przykładem rozważań teoretycznych są prace [7, 9], w których metodami obliczeniowymi porównano działania ekranów z nakładkami o różnych kształtach. Wykazano obliczeniowo, że ich zastosowanie umożliwia znaczne zmniejszenie wysokości standardowego ekranu, ale wniosków nie potwierdzono badaniami eksperymentalnymi. Poza tym, niektóre proponowane rozwiązania (np. nakładka w kształcie litery „Y”) byłyby nieracjonalne w naszych warunkach środowiskowych m.in. ze względu na dodatkowe obciążenie śniegiem i lodem oraz wysokie koszty utrzymania. Badania eksperymentalne ekranu z nakładką omówiono np. w pracy [10]. Analizowano tam nakładkę typu „T”. We wnioskach zwrócono uwagę na konieczność dalszych badań, ale ekrany tego typu nie rozpowszechniły się. Badania ekranów z nakładkami oktagonálnymi omówiono w [11]. Skuteczność określono w jednym punkcie odbioru, tj. w odległości 3,7 m za ekranem, na wysokości 1,2 m. Wyniki badań i wnioski można więc odnieść tylko do tego punktu. Ponadto badania

¹⁾ Politechnika Rzeszowska, Wydział Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury

²⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*)} Correspondence address: ljanas@prz.edu.pl

The effectiveness was determined at a single reception point, i.e. at a distance of 3.7 m behind the screen, at a height of 1.2 m. The results of the research and conclusions can therefore only be applied to this point. In addition, the research was carried out under traffic. The “after installation” cross-section was adopted on one side of the road, the “before installation” cross-section on the opposite side, which could adversely affect the measurement results.

The problem of diffraction overlays is highlighted in a publication [12] issued by the CEDR – organization of European road managers. The study concluded, among other things, that diffraction overlays are not widely used in Europe, and the main reason is the lack of data confirming the effectiveness of this type of device and the inability to reliably include them in noise modelling software. It was also pointed out that the costs of using overlays can be high, compared to the costs of a standard increase in screen height.

The study [13] concluded that potentially overlays can improve the acoustic performance of a flat screen, with little or no increase in its height. Attention was drawn to the fact that overlays can significantly change the aesthetics of the screen, both from the perspective of road users and protected residents. It also found that there was no data on the overall effectiveness of the overlays and highlighted that there were difficulties in accurately considering the effects of the added diffraction devices in noise modelling software. It was noted that these devices may be too expensive compared to the costs of increasing the height of the flat screen and that the cost analysis should take into account not only the costs of the diffraction overlay, but also – depending on the type of overlay and the screen on which it is to be mounted – the possible costs of modifying the screen structure, e.g. strengthening the foundations, increasing the cross-sections of load-bearing columns.

The report of the SOPRANOISE research programme [14] states, among other things, that caution is advised in assuming the alleged increase in sound attenuation by multi-edge (diffraction) overlays, which are usually only effective under the “shadow line”, but which in no way justify a reduction in the height of the screen when the areas above this line are to be protected. The analysis of the literature shows that there are still no detailed in situ studies of noise barriers with multi-edge diffraction overlays in order to determine their effectiveness. Applying this type of solutions only on the basis of theoretical analyses may be subject to significant errors.

Description of the tested object and research

The article presents the results of tests on the effectiveness of an acoustic screen without a diffraction overlay (E1) and compares them with the results of tests on a screen with an overlay (E2). Tests were carried out on a model screen of the “green wall” type with dimensions of 4.0×12.0 m (Photo a) on which an octagonal diffraction overlay with a height of 0.45 m was mounted (Photo b). The cross-section of the overlay is shown in Figure 1.

prowadzono pod ruchem. Przekrój „po instalacji” przyjęto po jednej stronie drogi, przekrój „przed instalacją” po stronie przeciwnej, co mogło niekorzystnie wpłynąć na wyniki pomiarów.

Na problem nakładek dyfrakcyjnych zwraca uwagę publikacja [12] wydana przez organizację zrzeszającą europejskich zarządców dróg CEDR. W opracowaniu tym stwierdzono m.in, że nakładki dyfrakcyjne nie są powszechnie stosowane w Europie, a główną przyczyną jest brak danych potwierdzających skuteczność tego typu urządzeń oraz brak możliwości rzetelnego ich uwzględnienia w oprogramowaniu do modelowania hałasu. Zwrócono też uwagę na fakt, że koszty stosowania nakładek mogą być duże w porównaniu z kosztami standardowego zwiększenia wysokości ekranu.

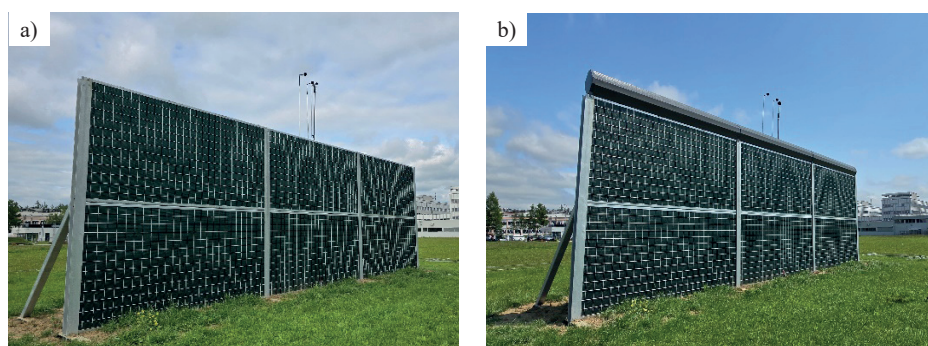
W opracowaniu [13] stwierdzono, że potencjalnie nakładki mogą poprawić parametry akustyczne ekranu płaskiego, bez lub przy niewielkim zwiększeniu jego wysokości. Zwrócono uwagę na fakt, że nakładki mogą znacznie zmienić estetykę ekranu, zarówno z perspektywy użytkowników drogi, jak i chronionych mieszkańców. Stwierdzono także, że nie ma danych na temat ogólnej skuteczności nakładek oraz podkreślono, że występują trudności w dokładnym uwzględnieniu wpływu dodanych urządzeń dyfrakcyjnych w oprogramowaniu do modelowania hałasu. Zauważono, że urządzenia te mogą być zbyt drogie w porównaniu z kosztami zwiększenia wysokości ekranu płaskiego oraz że przy analizie kosztów powinny być brane pod uwagę nie tylko koszty nakładki dyfrakcyjnej, ale również – w zależności od rodzaju nakładki i ekranu, na którym ma być zamontowana – ewentualne koszty modyfikacji konstrukcji ekranu, np. wzmocnienie fundamentów, zwiększenie przekrojów słupów nośnych. W raporcie z programu badawczego SOPRANOISE [14] zapisano m.in. że *zaleca się zachowanie ostrożności w przyjmowaniu rzekomego wzrostu tłumienia dźwięku przez nakładki wielokrawędziowe (dyfrakcyjne), które zwykle są skuteczne jedynie pod „linią cienia”, ale które w żaden sposób nie uzasadniają zmniejszenia wysokości ekranu, gdy chronione mają być obszary położone powyżej tej linii.*

Analiza literatury wykazuje, że w dalszym ciągu nie ma szczegółowych badań in situ ekranów akustycznych z wielokrawędziowymi nakładkami dyfrakcyjnymi w celu ustalenia ich skuteczności. Stosowanie tego typu rozwiązań wyłącznie na podstawie analiz teoretycznych może być obciążone dużym błędem.

Opis badanego obiektu i przebieg badań

W artykule przedstawiono wyniki badań skuteczności ekranu akustycznego bez nakładki dyfrakcyjnej (E1) i porównano je z wynikami badań ekranu z nakładką (E2). Przeprowadzono badania ekranu modelowego typu „zielona ściana” o wymiarach 4,0×12,0 m (fotografia a) na którym zamontowano nakładkę dyfrakcyjną, oktagonálną o wysokości 0,45 m (fotografia b). Przekrój poprzeczny nakładki przedstawiono na rysunku 1.

Badania wykonano na obszarze, na którym w odległości co najmniej 60 m z każdej strony stanowiska badawczego nie było powierzchni odbijających (budynków, ogrodzeń itp.). Zastosowano metodę pomiaru pośredniego, tj. poziomy „przed



Acoustic screen: a) without diffraction device (E1); b) with diffraction device (E2)
Ekran akustyczny: a) bez nakładki dyfrakcyjnej (E1); b) z nakładką dyfrakcyjną (E2)

The research was carried out in an area where there were no reflective surfaces (buildings, fences, etc.) at a distance of at least 60 m on each side of the test site. The indirect measurement method was used, i.e. the levels “before installation” were measured in an equivalent place, next to the installed screen, where the terrain profile, reflective surfaces, ground surface did not change.

The tests were carried out on the same day, in similar meteorological conditions. Meteorological conditions were recorded with a calibrated anemometer, thermometer and hygrometer. The average wind speed did not exceed 3.0 m/s, and the vector component in the case of “before” and “after” measurements did not differ by more than 2.0 m/s.

The temperature during the study was in the range of 14.5 – 17.0°C and differed by max. 5°C, and the humidity was 58 – 66%. The cloud cover was low to moderate.

Calibrated sound level meters of accuracy class 1 were used in the measurements. Before and after the tests, the measuring system was checked with an acoustic calibrator, and wind-screens were placed on each microphone. The background sound pressure level was at least 10 dB lower than the level recorded during the measurements. The effectiveness of the screen was determined using an artificial, omnidirectional and controlled source. Sound level measurements were carried out in bands 1/3 of the octave. The reference microphone is located in the plane of the screen, at least 1.5 m above its upper edge so as to measure the undisturbed sound pressure level coming from the source.

The sound source was placed 5.0 m from the screen at a height of 2.1 m, the receiver points were located at a distance of 5.0 m and 15.0 m behind the screen, at a height of 1.5 and 4.0 m. The environmental conditions in the area of at least 30 m behind and next to the collection points were the same. The research was carried out in accordance with [16]. The range of measurement frequencies was in the range of 50–5000 Hz (1/3 octave bands). Each measurement was repeated three times and the effectiveness, i.e. the difference in sound pressure levels at a given receiver point before and after the screen was installed, was determined. The insertion loss D_{IL}' was calculated from the formula:

$$D_{IL}' = \Delta L_A - \Delta L_B \quad (1)$$

where the differences in sound pressure levels at the reference point ΔL_B and at the receiver point ΔL_A are expressed by:

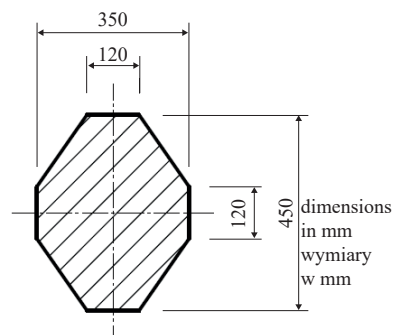


Fig. 1. Cross-section of the applied diffraction device (diffractor)

Rys. 1. Przekrój poprzeczny zastosowanej nakładki dyfrakcyjnej (dyfraktora)

instalacją” zmierzono w równoważnym miejscu, obok zainstalowanego ekranu, gdzie nie zmieniał się profil terenu, powierzchnie odbijające, powierzchnia gruntu. Badania wykonano w tym samym dniu, w zbliżonych warunkach meteorologicznych. Warunki meteorologiczne rejestrowano wzorcowanym anemometrem, termometrem i higrometrem. Średnia prędkość wiatru nie przekraczała 3,0 m/s, a składowa wektorowa w przypadku pomiaru „przed” i „po” instalacji nie różniła się o więcej niż 2,0 m/s. Temperatura w czasie badań mieściła się w przedziale 14,5 – 17,0°C i w pomiarach „przed” i „po” różniła się o max. 5°C, a wilgotność wynosiła 58 – 66%. Zachmurzenie było małe i umiarkowane.

W pomiarach stosowano wzorcowane mierniki poziomu dźwięku klasy dokładności 1. Przed i po zakończeniu badań układ pomiarowy sprawdzano kalibratorem akustycznym, na każdym mikrofonie umieszczono osłony przeciwwietrzne. Poziom ciśnienia akustycznego tła był mniejszy o co najmniej 10 dB od poziomu rejestrowanego w czasie pomiarów. Skuteczność ekranu wyznaczono, stosując źródło sztuczne, wszechkierunkowe i kontrolowane. Pomiar poziomu dźwięku prowadzono w pasmach 1/3 oktawy. Mikrofon odniesienia usytuowano w płaszczyźnie ekranu, min. 1,5 m nad jego górną krawędzią, tak aby zmierzyć niezakłócony poziom ciśnienia akustycznego pochodzący od źródła.

Źródło dźwięku umieszczono w odległości 5,0 m od ekranu na wysokości 2,1 m, punkty odbioru były zlokalizowane w odległości 5,0 m i 15,0 m za ekranem, na wysokości 1,5 i 4,0 m. Warunki środowiskowe w obszarze co najmniej 30 m za i obok punktów odbioru były jednakowe.

Badania przeprowadzono zgodnie z [16]. Zakres częstotliwości pomiarowych mieścił się w przedziale 50 – 5000 Hz (pasma 1/3 oktawy). Każdy pomiar powtarzano trzykrotnie i wyznaczono skuteczność, tj. różnicę poziomów ciśnienia akustycznego w danym punkcie odbioru przed i po zainstalowaniu ekranu. Wartość skuteczności D_{IL}' obliczano ze wzoru:

$$D_{IL}' = \Delta L_A - \Delta L_B \quad (1)$$

w którym różnice poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie odniesienia ΔL_B i w punkcie odbioru ΔL_A są wyrażone wzorami:

$$\Delta L_B = L_{ref,B} - (L_{r,B} - C_r) \quad (2)$$

$$\Delta L_B = L_{\text{ref},B} - (L_{r,B} - C_r) \quad (2)$$

$$\Delta L_A = L_{\text{ref},A} - (L_{r,A} - C_r') \quad (3)$$

where:

$L_{\text{ref},B}$ – sound pressure level “before” the installation at the reference point;
 $L_{r,B}$ – sound pressure level “before” the installation at the receiver point;
 $L_{\text{ref},A}$ – sound pressure level “after” installation at the reference point;
 $L_{r,A}$ – sound pressure level “after” the installation at the receiver point;
 C_r and C_r' – correction factors taking into account the type of location of the receiver point.

$$\Delta L_A = L_{\text{ref},A} - (L_{r,A} - C_r') \quad (3)$$

gdzie:

$L_{\text{ref},B}$ – poziom ciśnienia akustycznego „przed” instalacją w punkcie odniesienia;
 $L_{r,B}$ – poziom ciśnienia akustycznego „przed” instalacją w punkcie odbioru;
 $L_{\text{ref},A}$ – poziom ciśnienia akustycznego „po” instalacji w punkcie odniesienia;
 $L_{r,A}$ – poziom ciśnienia akustycznego „po” instalacji w punkcie odbioru;
 C_r i C_r' – współczynniki korekcyjne uwzględniające rodzaj usytuowania punktu odbioru.

Research results

The results of measurements in a graphical form along with the location of the measurement points are presented in Figure 2. A comparison of the effectiveness values of the screen without the diffraction device (E1) and the screen with the device (E2), determined at the four receiver points, is presented in Table 1.

Analyzing the results of the measurements, it was found that the use of a diffraction device improves the effectiveness of the screen at the adopted points with a value in the range of 3.1 – 6.8 dB. The smallest change in screen effectiveness was observed at a height of 1.5 m, at a point 5.0 m away from the screen, and the greatest improvement in effectiveness was found at points at a height of 4.0 m.

Figure 3 shows the effectiveness values of E1 and E2 screens depending on the receiver point and frequency band. It can be seen that the improvement in effectiveness at a distance of 5.0 m from the screen at P1A point located at a height of 1.5 m occurs mainly

Wyniki badań

Wyniki pomiarów w formie graficznej wraz z lokalizacją punktów pomiarowych przedstawiono na rysunku 2. Porównanie wartości skuteczności ekranu bez nakładki dyfrakcyjnej (E1) z ekranem z nakładką (E2), wyznaczonych w czterech punktach odbioru, zamieszczono w tabeli 1.

Analizując wyniki pomiarów stwierdzono, że zastosowanie nakładki dyfrakcyjnej poprawia skuteczność ekranu w przyjętych punktach odbioru o wartości z przedziału 3,1-6,8 dB. Najmniejszą zmianę skuteczności ekranu zaobserwowano na wysokości 1,5 m, w punkcie odległym o 5,0 m od ekranu, a największą poprawę skuteczności stwierdzono w punktach na wysokości 4,0 m.

Na rysunku 3 przedstawiono wartości skuteczności ekranu E1 i E2 w zależności od punktu odbioru i pasma częstotliwości. Można zauważyć, że poprawa skuteczności w odległości 5,0 m od ekranu w punkcie P1A usytuowanym na wysokości 1,5 m występuje

głównie w pasmach częstotliwości powyżej 1600 Hz. W punkcie P2A usytuowanym na wysokości 4,0 m poprawa występuje niemal w całym zakresie częstotliwości (powyżej 160 Hz). W punktach oddalonych o 15,0 m od ekranu poprawa skuteczności występuje głównie w pasmach częstotliwości powyżej 1000 Hz.

Numerical analysis

The computer simulation was carried out using SoundPlan 8.2 software, which is used to model acoustic-geometric systems.

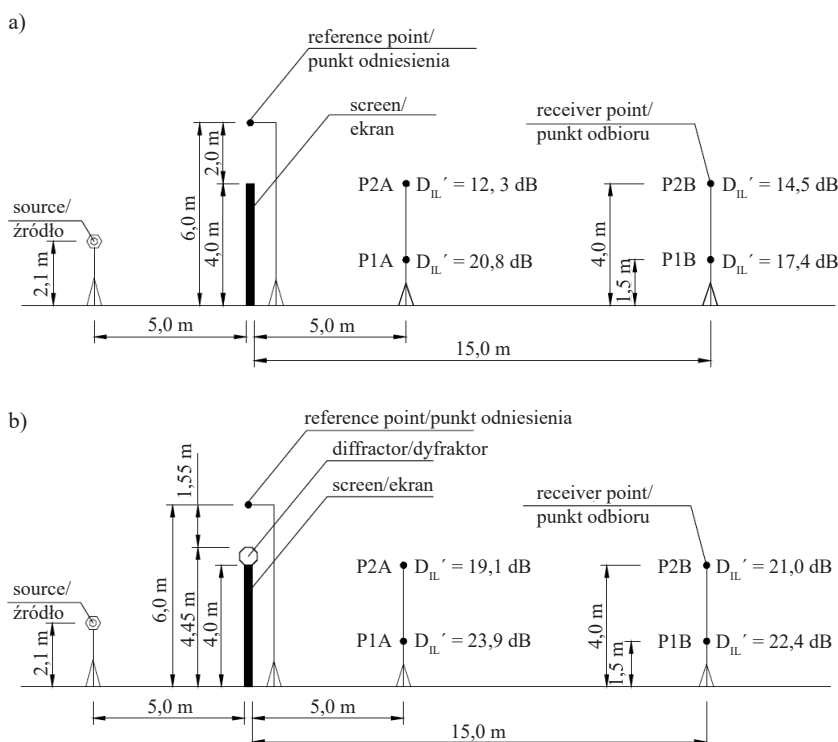


Fig. 2. Measurement scheme and measured values of the screen insertion loss D_{IL}' : a) without diffractor (E1); b) with diffractor (E2)

Rys. 2. Schemat układu pomiarowego oraz zmierzone wartości skuteczności ekranu D_{IL}' : a) bez dyfraktora (E1); b) z dyfraktorem (E2)

Analiza numeryczna

Symulacja komputerowa została przeprowadzona przy użyciu opro-

Table 1. Experimentally determined values of the screen insertion loss without diffractor (E1) and with diffractor (E2) at four receiver points

Tabela 1. Wartości wyznaczonej doświadczalnie skuteczności ekranu bez dyfraktora (E1) i z dyfraktorem (E2) w czterech punktach odbioru

Receiver points/ Punkt odbioru	Distance from the screen/ Odległość od ekranu [m]	Height above ground/ Wysokość nad terenem [m]	Screen effectiveness D_{IL} in [dB] Skuteczność ekranu D_{IL} [dB]		Difference in effectiveness values in [dB]/ Różnica wartości skuteczności [dB] (E1) – (E2)
			without diffractor (E1)/ bez dyfraktora (E1)	with diffractor (E2)/ z dyfraktorem (E2)	
P1A	5,0	1,5	20,8	23,9	-3,1
P2A		4,0	12,3	19,1	-6,8
P1B	15,0	1,5	17,4	22,4	-5,0
P2B		4,0	14,5	21,0	-6,5

On its basis, calculations of the distribution of the acoustic field generated by the omnidirectional sound source are performed, which were modeled on the basis of the tests performed and the location of calculation points in accordance with the adopted research site.

The computational model was made on the basis of digital geometric data obtained during the inventory of field surveys, taking into account the location of the acoustic screen, its length and height, and sound-absorbing properties. Data on soil properties were entered into the created model. The diagram of the measuring station is shown in Figure 4. Point sound receivers are arranged in the same way as during real measurements.

The adopted calculation model was calibrated to the results of sound level measurements obtained during field measurements. The values obtained by measurement and calculation are presented in Table 2. They show the correctness of the model, in which the difference between the sound levels at the measurement points is from $+0.1$ ÷ (-3.2) dB.

Calculation results

The results of the calculations in numerical form are presented in a tabular way, comparing the values of the sound levels calculated to those obtained by measurement in the case of two situations: an acoustic screen (E1) without a diffractor with a height of 4.0 m (Table 3); screen (E2) after installing a diffractor with a total height of 4.45 m (Table 4).

Table 5 compares the calculated insertion loss values for screens (E1) and (E2). In addition, Table 6 presents the results of the calculations of the screen (E3), without a diffractor but with a height of 4.45 m, and the results in a graphic form, presenting the distribution of noise from a point noise source horizontally and in cross-section, in Figures 5 and 6.

Analyzing the results of the calculations, it was found that the use of a diffraction caps improves the effectiveness of the screen at the adopted calculation points in the range of 2.0 – 4.1 dB. The smallest change in effectiveness was observed at a point 5.0 m away from the screen at a height of 1.5 m, and the largest at a point at a height of 4.0 m also at a distance of 5.0 m. Comparing screens of the same height with a diffractor (E2) and without a diffractor (E3), it was found that the diffractor improves the effectiveness of the screen by 0.7 – 2.7 dB.

gramowania SoundPlan 8.2, które służy do modelowania układów akustyczno-geometrycznych. Na jego podstawie wykonywane są obliczenia rozkładu pola akustycznego, generowanego przez wszechkierunkowe źródło dźwięku, które zamodelowano na podstawie wykonanych badań oraz lokalizacji punktów obliczeniowych zgodnych z przyjętym poligonem badawczym. Model obliczeniowy opracowano na bazie cyfrowych danych geometrycznych pozyskanych podczas inwentaryzacji w trakcie wykonywania badań terenowych, uwzględniając lokalizację ekranu akustycznego, jego długość i wysokość oraz właściwości dźwiękochłonne. Do stworzonego modelu wprowadzono dane dotyczące właściwości podłoża. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono na rysunku 4. Punktowe odbiorniki dźwięku rozmieszczone są analogicznie jak podczas rzeczywistych pomiarów.

Przyjęty model obliczeniowy został skalibrowany do wyników pomiarów poziomów dźwięku, uzyskanych podczas realizacji pomiarów terenowych. Wartości uzyskane metodą pomiarową i obliczeniową przedstawiono w tabeli 2. Wynika z nich prawidłowość opracowanego modelu, w którym różnica pomiędzy poziomami dźwięku w punktach pomiarowych wynosi $+0,1$ ÷ $(-3,2)$ dB.

Wyniki obliczeń

Wyniki obliczeń w formie liczbowej przedstawiono tabelarycznie, porównując wartości poziomów dźwięku obliczonych do uzyskanych pomiarowo w przypadku dwóch sytuacji: ekran akustyczny (E1) bez dyfraktora o wysokości 4,0 m (tabela 3); ekran (E2) po zabudowie dyfraktora o łącznej wysokości 4,45 m (tabela 4). W tabeli 5 porównano wartości skuteczności obliczonej ekranów (E1) i (E2). Dodatkowo, w tabeli 6 przedstawiono wyniki obliczeń ekranu (E3) bez dyfraktora, ale o wysokości 4,45 m, a wyniki w formie graficznej, prezentujące rozkład hałasu pochodzącego od punktowego źródła hałasu w poziomie i w przekroju, na rysunkach 5 i 6.

Analizując wyniki obliczeń, stwierdzono, że zastosowanie nakładki dyfrakcyjnej poprawia skuteczność ekranu w przyjętych punktach obliczeniowych z przedziału 2,0 – 4,1 dB. Najmniejszą zmianę skuteczności zaobserwowano 1,5 m, w punkcie odległym o 5,0 m od ekranu na wysokości 1,5 m, największą w punkcie na wysokości 4,0 m również w odległości 5,0 m.

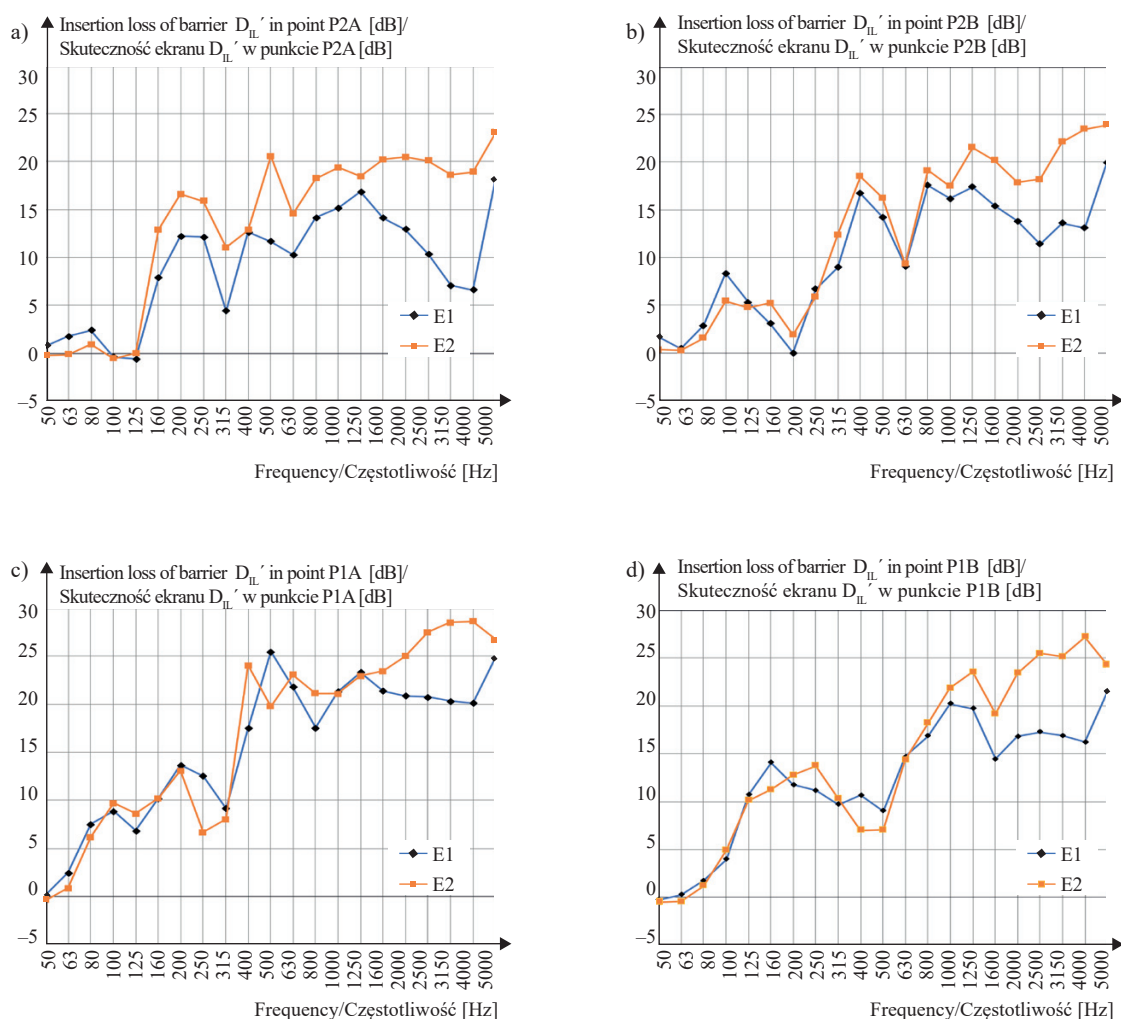


Fig. 3. Insertion loss values for E1 and E2 screens in the frequency bands: a) at point P2A; b) at point P2B; c) at point P1A and d) at point P1B

Rys. 3. Wartości skuteczności ekranów E1 i E2 w pasmach częstotliwości: a) w punkcie P2A; b) w punkcie P2B; c) w punkcie P1A oraz d) w punkcie P1B

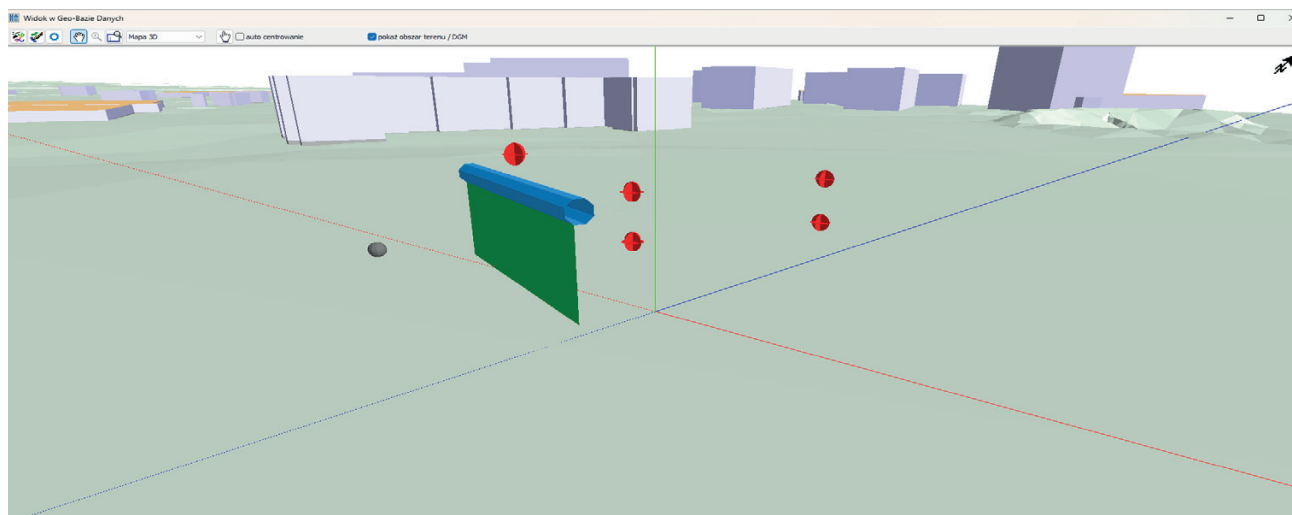


Fig. 4. Diagram of the geometric configuration used for the calculations

Rys. 4. Schemat układu geometrycznego przyjętego do obliczeń

Table 2. Values of the measured and calculated sound levels, $L_{Aeq,pom}$ and $L_{Aeq,obl}$, at the adopted points without the acoustic screen
Tabela 2. Wartości zmierzonych i obliczonych poziomów dźwięku $L_{Aeq,pom}$ i $L_{Aeq,obl}$ w przyjętych punktach bez ekranu akustycznego

Receiver point/ Punkt pomiarowy	Distance from the screen/ Odległość od ekranu [m]	Height above ground/ Wysokość nad terenem [m]	Sound level in [dB]/ Poziom dźwięku [dB]		Difference in [dB]/ Różnica [dB]
			$L_{Aeq,pom}$	$L_{Aeq,obl}$	
P1A	5,0	1,5	80,2	79,9	0,3
P2A		4,0	76,4	79,6	- 3,2
P1B	15,0	1,5	75,0	74,9	0,1
P2B		4,0	73,9	74,8	- 0,9

Table 3. Values of the measured and calculated sound levels, $L_{Aeq,pom}$ and $L_{Aeq,obl}$, at the adopted points in the case of the screen without the diffractor (E1)
Tabela 3. Wartości zmierzonych i obliczonych poziomów dźwięku $L_{Aeq,pom}$ i $L_{Aeq,obl}$ w przyjętych punktach w przypadku ekranu bez dyfraktora (E1)

Receiver point/ Punkt pomiarowy	Distance from the screen/ Odległość od ekranu [m]	Height above ground/ Wysokość nad terenem [m]	Sound level/ Poziom dźwięku [dB]		Difference/ Różnica [dB]
			$L_{Aeq,pom}$	$L_{Aeq,obl}$	
P1A	5,0	1,5	58,4	58,9	-0,5
P2A		4,0	63,5	62,8	0,7
P1B	15,0	1,5	55,8	55,9	- 0,1
P2B		4,0	57,5	57,9	- 0,4

Table 4. Values of the measured and calculated sound levels, $L_{Aeq,pom}$ and $L_{Aeq,obl}$, at the adopted points in the case of the screen with the diffractor (E2)
Tabela 4. Wartości zmierzonych i obliczonych poziomów dźwięku $L_{Aeq,pom}$ i $L_{Aeq,obl}$ w przyjętych punktach po zabudowie dyfraktora (E2)

Receiver point/ Punkt pomiarowy	Distance from the screen/ Odległość od ekranu [m]	Height above ground/ Wysokość nad terenem [m]	Sound level/ Poziom dźwięku [dB]		Difference/ Różnica [dB]
			$L_{Aeq,pom}$	$L_{Aeq,obl}$	
P1A	5,0	1,5	57,0	56,9	0,1
P2A		4,0	58,4	58,7	- 0,3
P1B	15,0	1,5	53,9	53,7	0,2
P2B		4,0	55,2	54,9	0,3

Table 5. Values of calculated insertion loss for the screen without the diffractor (E1) and with the diffractor (E2) at four adopted points
Tabela 5. Wartości wyznaczonej obliczeniowo skuteczności ekranu bez dyfraktora (E1) i z dyfraktorem (E2) w czterech punktach obliczeniowych

Receiver point/ Punkt pomiarowy	Distance from the screen/ Odległość od ekranu [m]	Height above ground/ Wysokość nad terenem [m]	Insertion loss D_{IL} [dB]/ Skuteczność ekranu D_{IL} [dB]		Difference in [dB]/ Różnica wartości skuteczności [dB]
			without diffractor (E1)/ bez dyfraktora (E1)	with diffractor (E2)/ z dyfraktorem (E2)	
P1A	5,0	1,5	21,0	23,0	-2,0
P2A		4,0	16,8	20,9	-4,1
P1B	15,0	1,5	19,0	21,2	-2,2
P2B		4,0	16,9	19,9	-3,0

Table 6. Values of calculated insertion loss for the screen without the diffractor (E3) and with the diffractor (E2) at four adopted points – both screens have the same height
Tabela 6. Wartości wyznaczonej obliczeniowo skuteczności ekranu bez dyfraktora (E3) oraz ekranu z dyfraktorem (E2) w czterech punktach obliczeniowych – oba ekrany o takiej samej wysokości

Receiver point/ Punkt pomiarowy	Distance from the screen/ Odległość od ekranu [m]	Height above ground/ Wysokość nad terenem [m]	Insertion loss D_{IL} [dB]/ Skuteczność ekranu D_{IL} [dB]		Difference in [dB]/ Różnica wartości skuteczności [dB]
			without diffractor (E3)/ bez dyfraktora (E3)	with diffractor (E2)/ z dyfraktorem (E2)	
P1A	5,0	1,5	21,6	23,0	-1,4
P2A		4,0	18,2	20,9	-2,7
P1B	15,0	1,5	20,5	21,2	-0,7
P2B		4,0	19,1	19,9	-0,8

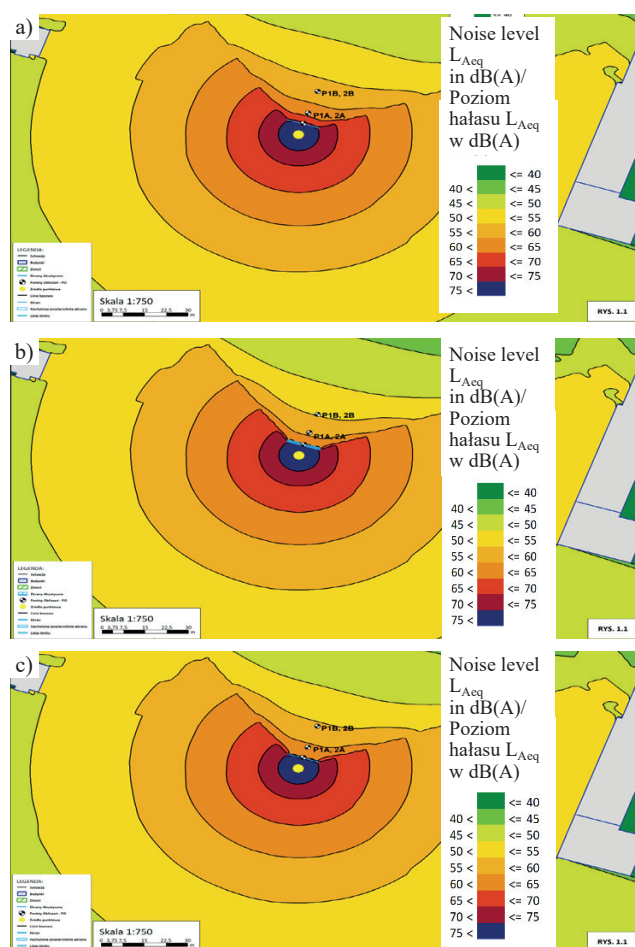


Fig. 5. Distribution of A-weighted sound level in the vicinity of the tested acoustic screen: a) without diffractor (E1) at a height of 4.0 m above ground level; b) with diffractor (E2) at a height of 4.0 m above ground level; c) without diffractor, but with the same height as the screen with diffractor (E3) at a height of 4.0 m above ground level

Rys. 5. Rozkład poziomu dźwięku A w sąsiedztwie badanego ekranu akustycznego: a) bez dyfraktora (E1) na wysokości 4,0 m nad poziomem terenu; b) z dyfraktorem (E2) na wysokości 4,0 m nad poziomem terenu; c) bez dyfraktora, ale o wysokości ekranu z dyfraktorem (E3) na wysokości 4,0 m nad poziomem terenu

Summary and Conclusion

The study concerned the assessment of the effectiveness of noise barriers without and with a diffraction device. The measurements were carried out in an open area, with appropriate acoustic and meteorological conditions, as well as with the use of calibrated measuring equipment of accuracy class 1.

Sound levels were analysed before and after screen installation, using an artificial omnidirectional sound source and receiver points placed at different heights and distances from the screen. The results showed that the diffraction overlay increases the effectiveness of the screen, especially at higher receiver points (4,0 m), where the improvement was up to 6,8 dB. At the lower points (1.5 m), the changes were smaller, but still noticeable. The improvement in efficiency occurred mainly in the high frequency bands.

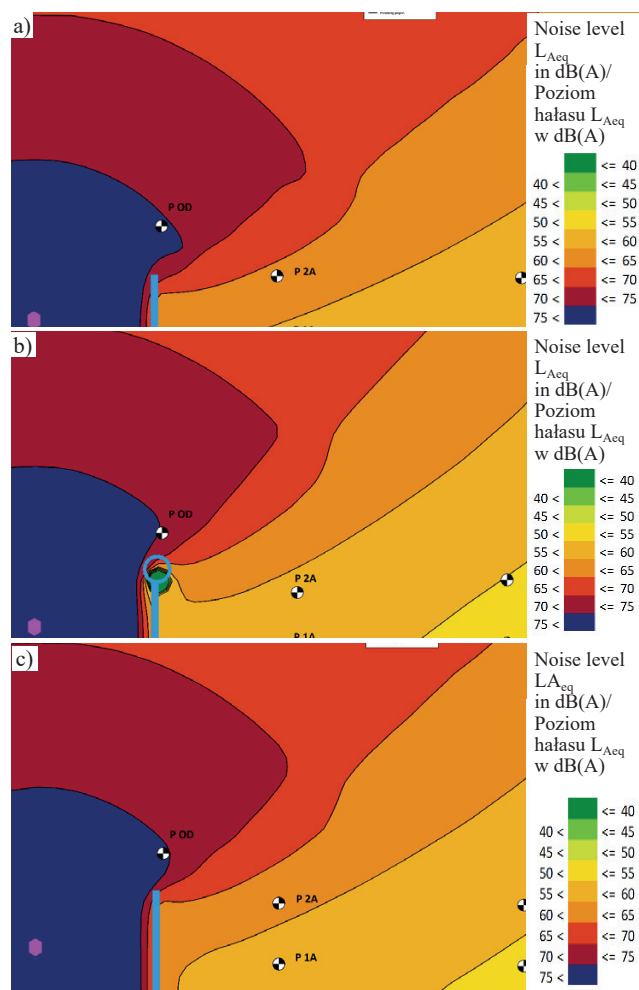


Fig. 6. Distribution of A-weighted sound level in the cross-section of the analyzed acoustic screen: a) without diffractor (E1); b) with diffractor (E2); c) without diffractor, but with the same height as the screen with diffractor (E3)

Rys. 6. Rozkład poziomu dźwięku A w przekroju przez analizowany ekran akustyczny: a) bez dyfraktora (E1); b) z dyfraktorem (E2); c) bez dyfraktora, ale o wysokości ekranu z dyfraktorem (E3)

Porównując ekrany o takiej samej wysokości z dyfraktorem (E2) i bez dyfraktora (E3), stwierdzono, że dyfraktor poprawia skuteczność ekranu o 0,7 – 2,7 dB.

Podsumowanie i wnioski

Przeprowadzone badania dotyczyły oceny skuteczności ekranów akustycznych bez oraz z nakładką dyfrakcyjną. Pomiarów wykonano w terenie otwartym, z zachowaniem odpowiednich warunków akustycznych i meteorologicznych, a także z wykorzystaniem wzorcowanego sprzętu pomiarowego klasy dokładności 1. Analizowano poziomy dźwięk przed i po instalacji ekranu, stosując sztuczne wszechkierunkowe źródło dźwięku oraz punkty odbioru umieszczone na różnej wysokości i odległości od ekranu. Uzyskane wyniki wykazały, że nakładka dyfrakcyjna zwiększa skuteczność ekranu, szczególnie w wyższych punktach pomiarowych (4,0 m), gdzie poprawa wyniosła do 6,8 dB. W niższych

In addition, a computer simulation was carried out in the SoundPlan program, the results of which confirmed the data obtained during field measurements. The developed calculation model, taking into account real geometric and acoustic data, showed satisfactory compliance with the measurements – the differences in sound levels are in the range of $+0.1 \div (3.2)$ dB depending on the location of the receiver point. The biggest difference is at the P2A measurement point located 5 m behind the noise barrier at a height of 4.0 m. Difference may be dictated by two different measurement cross-sections. The simulation showed that the use of a diffractor improves the effectiveness of screens at calculation points in the range of $2.0 \div 4.1$ dB.

A simulation was also carried out consisting in raising the noise barrier by a height of 0.45 m, equal to the height of the diffractor used, and the results obtained indicate that raising the screen is less effective compared to installing the reducer directly behind the screen by $1.4 \div 2.7$ dB, and at a distance of 15 m behind the screen by only $0.7 \div 0.8$ dB. Both the measurement and calculation results indicate a positive impact of the diffraction overlay on the effectiveness of the tested acoustic screen at the analyzed receiver points.

The research was funded by grant “Innovative methods of road noise reduction and the principles of their application”, number RID-II/0015/2022, financed by the National Centre for Research and Development (NCBR) and General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA) in Poland.

Received: 03.03.2025

Revised: 26.05.2025

Published: 21.08.2025

punktach (1,5 m) zmiany były mniejsze, ale nadal zauważalne. Poprawa skuteczności występowała głównie w wysokich pasmach częstotliwości. Dodatkowo przeprowadzono symulację komputerową w programie SoundPlan, której wyniki potwierdziły dane uzyskane podczas pomiarów terenowych.

Opracowany model obliczeniowy, uwzględniający rzeczywiste dane geometryczne i akustyczne, wykazał zadowalającą zgodność z pomiarami – różnice poziomów dźwięku mieszczą się w przedziale $+0,1 \div (-3,2)$ dB w zależności od lokalizacji punktu pomiarowego. Największa różnica występuje w punkcie pomiarowym P2A zlokalizowanym 5 m za ekranem akustycznym na wysokości 4,0 m. Tak duża różnica może być podyktowana dwoma różnymi lokalizacyjnie przekrojami pomiarowymi. Symulacja wykazała, że zastosowanie dyfraktora wpływa na poprawę skuteczności ekranów w punktach obliczeniowych w zakresie $2,0 \div 4,1$ dB. Przeprowadzono również symulację polegającą na podwyższeniu ekranu akustycznego o wysokość 0,45 m, równą wysokości zastosowanego dyfraktora, a uzyskane wyniki wskazują, że podwyższenie ekranu jest mniej skuteczne w porównaniu z zabudową reduktora bezpośrednio za ekranem o $1,4 \div 2,7$ dB, a w odległości 15 m za ekranem jedynie o $0,7 \div 0,8$ dB. Zarówno wyniki pomiarowe, jak i obliczeniowe wskazują na pozytywny wpływ zastosowanej nakładki dyfrakcyjnej na efektywność badanego ekranu akustycznego w analizowanych punktach odbioru.

Badania doświadczalne zostały wykonane w ramach projektu badawczego „Innowacyjne metody redukcji hałasu drogowego i zasady ich stosowania” RID-II/0015/2022, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju oraz Generalną Dyрекcję Dróg Krajowych i Autostrad.

Artykuł wpłynął do redakcji: 03.03.2025 r.

Otrzymał poprawiony po recenzjach: 26.05.2025 r.

Opublikowano: 21.08.2025 r.

Literature

- [1] Bohatkiewicz J. Modelowanie i ocena rozwiązań chroniących przed hałasem drogowym. Politechnika Lubelska; 2017.
- [2] Zakrzewski T, Żuchowski R. Kompendium akustyki architektonicznej wraz z przykładami metod obliczeniowych, Gliwice: Wydawnictwo Politechniki Śląskiej; 2009.
- [3] Gardziejczyk W, Gerasimiuk P, Motylewicz M. Ekran akustyczny – analiza ich skuteczności na wybranych przykładach. Magazyn Autostrady 2011; 12: 38 – 45.
- [4] Motylewicz M, Bohatkiewicz J, Dębiński M. Ekran akustyczny – zasady ustalania położenia i wymiarów względem źródła i odbiorcy hałasu. Materiały Budowlane, 2018; <https://doi.org/10.15199/33.2018.12.21>.
- [5] Motylewicz M, Gerasimiuk P, Dębiński M. Badania skuteczności i efektywności drogowych ekranów przeciwhałasowych. Materiały Budowlane. 2023; <https://doi.org/10.15199/33.2023.08.06>.
- [6] Pereta K, Janas L, Klich R. Ocena skuteczności ekranu akustycznego z bramą wjazdową. Budownictwo i Architektura. 2014; 4: 189 – 193.
- [7] Żuchowski R., Nowosiwiat A., Bochen J.: Impact of an edge sound reducer built into the upper edge of the acoustic screen on the distribution of acoustic field on the receiver's side. 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018), 18-22 June 2018, Prague, Czech Republic [online], IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, nr 471, 2019, IOP Publishing, 6000 s.
- [8] Dulak L., Nowosiwiat A., Żuchowski R.: Badania parametrów dźwiękochłonnych paneli ekranów drogowych z krawędziowym reduktorem dźwięku. Magazyn Autostrady 2016; 7: 26-32.
- [9] Ishizuka T, Fujiwara K. Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions, Department of Acoustic Design, Kyushu Institute of Design. Applied Acoustics. 2004; 65: 125 – 141.
- [10] Defrance J, Jean P. Integration of the efficiency of noise barrier caps in a 3D ray tracing method. Case of a T-shaped diffracting device. Applied Acoustics. 2003; 64: 765 – 780.
- [11] Galińska B, Kopania J. Hałas drogowy a skuteczność ekranów z oktagonálnymi reduktorami dźwięku. Autobusy. 2016; 6: 168 – 171.
- [12] Maeck J, Morgan P, Muirhead M, Bellucci P, Grecco R. State-of-the-art on secondary functions for noise barriers and road surfaces. Conference of European Directors of Roads CEDR. 2015.
- [13] Vanhooreweder B, Marcocci S, De Leo A. Technical Report 2017-02 State of the art in managing road traffic noise: noise barriers. Conference of European Directors of Roads CEDR. 2017.
- [14] SOPRANOISE: T5.2 Physical behavior of NB/acoustic intrinsic performances, CEDR. 2020.
- [15] Asdrubali F. Experimental evaluation of the diffracting performances of multipurpose noise barrier profiles. Forum Acusticum. Budapest. 2005: 1225 – 1260.
- [16] PN-ISO 10847:2002 – Akustyka. Wyznaczanie „in situ” skuteczności zewnętrznych ekranów akustycznych wszystkich rodzajów.
- [17] SOPRANOISE: D5.1 Intermediate progress report including M5.1, M5.2 and M5.3, CEDR April 15, 2021.