

OCENA WPŁYWU MODYFIKACJI KSZTAŁTU KRAWĘDZI GÓRNEJ EKRA- NU AKUSTYCZNEGO NA ROZKŁAD POŁA AKUSTYCZNEGO PO STRONIE ODBIORCY

Leszek DULAK^{*}, Michał MARCHACZ^{**}, Artur NOWOŚWIAT^{***}, Marcelina OLECHOWSKA^{****},
Rafał ŻUCHOWSKI^{*****}

** Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: leszek.dulak@polsl.pl*

*** Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: michal.marchacz@polsl.pl*

**** Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: artur.nowoswiat@polsl.pl*

***** Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: marcelina.olechowska@posl.pl*

****** Politechnika Śląska, Katedra Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli
Ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail: rafal.zuchowski@polsl.pl*

Streszczenie: Artykuł przedstawia badania modelowe w komorze bezchłowej ekranu akustycznego w skali 1:1 wraz z nakładką krawędziową o pewnym kształcie. Uzyskane wyniki są podstawą do oceny jakościowej i ilościowej zastosowanego rozwiązania w kontekście zmiany pola akustycznego za ekranem po stronie odbiorcy w wyniku zastosowania nakładki krawędziowej.

Słowa kluczowe: Ekran akustyczny, kształt górnej krawędzi, nakładka krawędziowa, dyfrakcja, rozkład pola akustycznego.

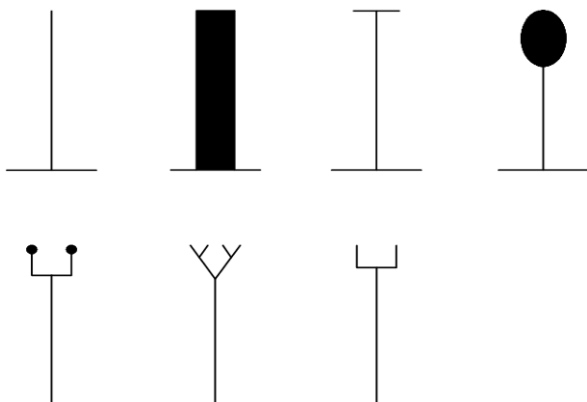
1. WPROWADZENIE

Istotnym aspektem poprawy stanu środowiska naturalnego jest zapewnienie odpowiedniego komfortu akustycznego. Związane jest to z ograniczeniem poziomów hałasu w obszarach skupisk ludzkich. Obniżenie poziomu dźwięku może odbywać się poprzez redukcję poziomu dźwięku w samym źródle (lub redukcję ilości źródeł dźwięku). Drugim sposobem jest zastosowanie szeregu środków technicznych mających na celu obniżenie poziomu dźwięku na rozpatrywanym obszarze. Sposób pierwszy powinien być stosowany w pierwszej kolejności. Pomimo obniżania poziomu dźwięku emitowanego przez pojedyncze źródła (np. samochody) sukcesywnie wzrasta ilość źródeł dźwięku w środowisku. Jednym ze środków technicznych zapobiegających nadmiernemu poziomowi hałasu jest ekran akustyczny. Stosowanie tego rozwiązania przeciwdźwiękowego

związane jest z ograniczeniami urbanistycznymi (możliwość umiejscowienia ekranu pomiędzy źródłem dźwięku a obszarem chronionym) architektonicznymi (problem przesłaniania) oraz społecznymi (wprowadzenie dodatkowej bariery skutkujące ograniczeniem swobodnej komunikacji). Patrząc historycznie ekran akustyczny traktowany jest początkowo jako cienka półpłaszczyzna o pewnej wysokości i nieskończonej długości. Pierwsze modele empiryczne – teoretyczne zostały przedstawione w latach 60 XX w. m.in. Przez Maekawę [1], Tatge'go [2], Rathe'go [3], Kurze'go [4] oraz innych autorów. Dźwięk rozchodzący się od źródła w kierunku ekranu częściowo zostaje pochłonięty przez strukturę ekranu, częściowo odbity a częściowo przenika przez strukturę ekranu. Ostatnim elementem jest propagacja dźwięku ponad górną krawędzią ekranu. Związane jest z tym zjawisko dyfrakcji czyli ugięcia fali dźwiękowej na górnej krawędzi ekranu. W kolejnych latach coraz dokładniejsze rozwiązania problemu skuteczności ekranowania podawało wielu badaczy m.in. Lam [5]. Skuteczność ekranu jest tu rozumiana jako różnica poziomów dźwięku przed i po zastosowaniu ekranu akustycznego. Rozwiązania te uwzględniały dodatkowe aspekty związane np. z odbiciem fali dźwiękowej od podłoża.

Zagadnienie wpływu kształtu górnej krawędzi ekranu podejmowane było od wczesnych lat 80 XX w. przez wielu badaczy. Przykładowo Wirst w 1979 roku na podstawie badań modelowych podał, iż dla ekranu o górnej krawędzi

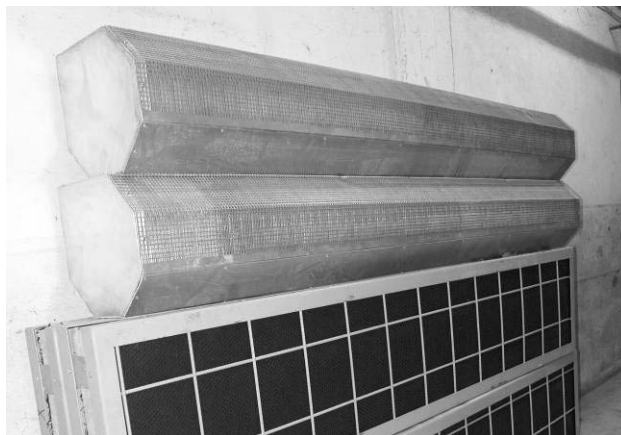
złożonej z elementów płotkowo-grzebieniowych uzyskiwał przyrost efektywności akustycznej na poziomie od 1 do 4 dB [6]. Hothersall prowadził badania nakładek o kształcie „T” oraz „Y” gdzie najlepsze efekty uzyskiwał dla górnej płaskiej powierzchni o dużej rozpiętości. Jedną z konkluzji prowadzonych badań było przypuszczenie o polepszeniu w warunkach rzeczywistych skuteczności nakładki poprzez zastosowanie dodatkowo na górnej powierzchni materiału mocno pochłaniającego [7]. Szereg badań modelowych i numerycznych przedstawił w pracach [8] Fujiwara (oraz inni). Przykładowe rozpatrywane schematy obrazuje rys.1.



Rys.1. Przykłady kształtów nakładek krawędziowych.

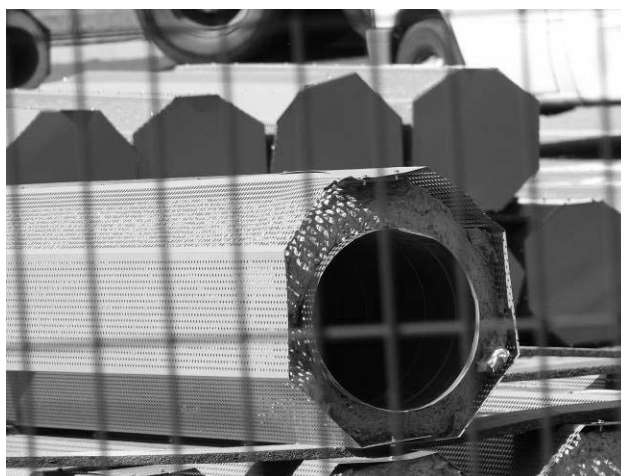
Fig.1. Examples shapes of edge covers.

Konkluzją, nie potwierdzoną w praktyce badaniami pełnej skali, było osiągnięcie dla niektórych modeli teoretycznych poprawy efektywności na poziomie 8 decybeli. Jednak modele te w swoim założeniu posiadały nakładki różnych kształtów o gabarytach dochodzących do 1m rozpiętości a czasem więcej. Stosowanie tak dużych nakładek rodzi wiele problemów natury technicznej. Przede wszystkim ciężko wprowadzić nakładkę o dużych gabarytach w warunkach zabudowanego już ekranu akustycznego. Wiąże się to z wkroczeniem w projektowaną obwiednię drogi oraz problemami związanymi z dużym dodatkowym obciążeniem samej nakładki jak i obciążeniami związanymi z parciem wiatru [9]. Dodatkowe obciążenie może powodować gromadzący się w wyniku opadów atmosferycznych śnieg (bardzo istotne dla geometrii górnej krawędzi typu T lub Y). Istotnym aspektem wydaje się też struktura materiału stanowiącego nakładkę krawędziową. Powinien się on charakteryzować dobrym współczynnikiem pochłaniania. Dla materiałów odbijających można uzyskać często efekt odwrotny [10]. Z wyżej przedstawionych względów technicznych, a także związanych z kosztami wytwarzania, stosowane obecnie rozwiązania komercyjne najczęściej nie przekraczają w przekroju obszaru pół na pół metra [11, 12] (rys.2,3,4).



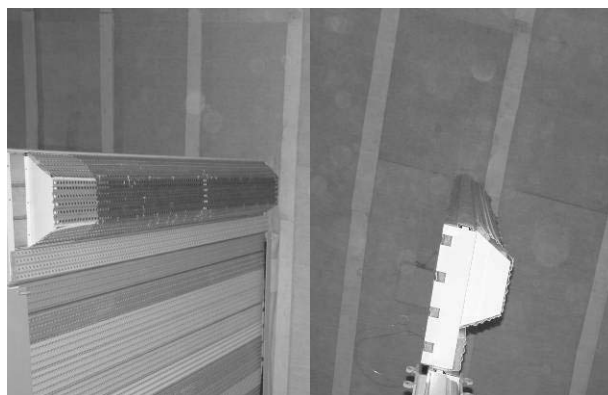
Rys.2. Nakładka redukująca firmy Gomibud.

Fig.2. Edge cover produced by Gomibud.



Rys.3. Nakładka oktagonalna firmy Signalco.

Fig.3. Edge cover produced by Signalco.



Rys.4. Nakładka firmy Mateiciuc.

Fig.4. Edge cover produced by Mateiciuc.

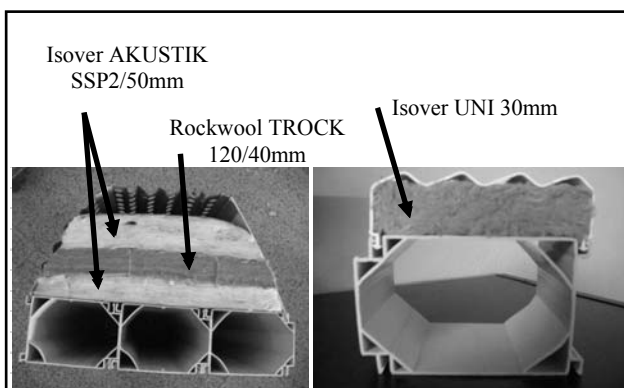
Dodatkowe zmniejszenie wielkości ustroju zmieniającego kształt górnej krawędzi w stosunku do wyników uzyskiwanych w przedstawianych badaniach negatywnie wpływa na końcową skuteczność stosowanych rozwiązań.

2. BADANIA MODELOWE W KOMORZE BEZECHOWEJ

Celem weryfikacji wpływu zmiany kształtu górnej krawędzi ekranu akustycznego, pierwotnie przyjętego jako prosta krawędź o pewnej grubości, dokonano szeregu badań porównawczych w komorze bezechowej Laboratorium Akustyki Katedry Budownictwa Ogólnego i Fizyki Budowli na wydziale Budownictwa Politechniki Śląskiej.



Rys.5. Komora pogłosowa wraz z zabudowanym ekranem i nakładką redukującą.
Fig.5. Reverberation chamber with sound barrier and edge cover.

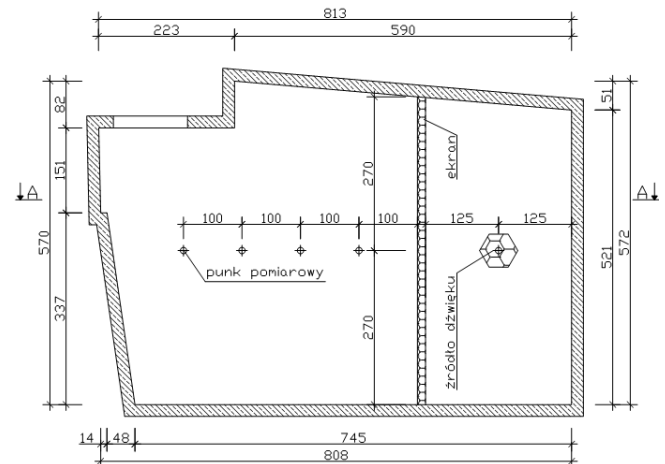


Rys.6. Budowa nakładki krawędziowej (fot. Mateiciuc).
Fig.6. Structure of edge cover (photo by Mateiciuc).

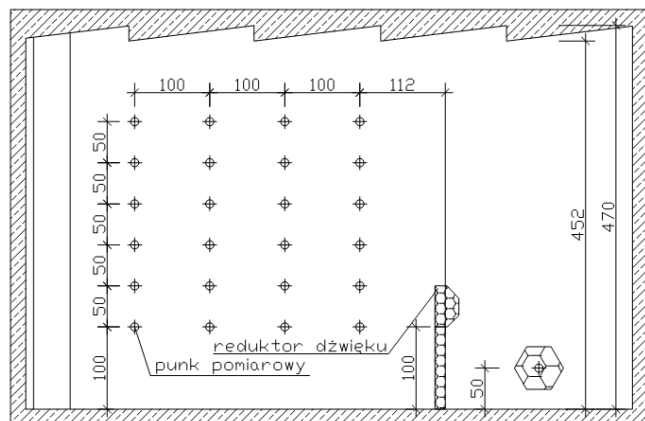
Przedmiotem badań była próbka ekranu akustycznego typu panel HAMPPEP B13 wraz z wykonanym elementem mającym stanowić tzw. nakładkę redukującą hałas. Budowa panelu ekranowego oraz nakładki składa się z plastikowej obudowy, od strony pochłaniającej dźwięk, perforowanej oraz wypełnienia asortymentem wełny mineralnej (rys. 6).

2.1. Metodyka przeprowadzonych pomiarów.

Badania przeprowadzone zostały w zaadaptowanej komorze pogłosowej. Ściany komory, podłoga jak i sufit pokryte zostały warstwami materiałów dobrze pochłaniających. Stworzona została sytuacja podobna do komory bezechowej dającej możliwość symulowania swobodnej propagacji dźwięku jak w przestrzeni otwartej jednocześnie z wykluczeniem innych oddziaływań akustycznych często spotykanych w otwartym środowisku. W tak ukształtowanej komorze zabudowano ekran akustyczny w różnych konfiguracjach wysokości, bez oraz z zamontowaną nakładką redukującą. Metodykę pomiarów przejęto w oparciu o normę [13]. Istniejąca obecnie norma [14] zawierająca metodykę wyznaczenia skuteczności samego ekranu jak i nakładki gdzie jednym z elementów jest algorytm wykluczenia wpływu odbić od twardego podłoża została pominięta w rozważaniach, ze względu na stworzone warunki w komorze bezechowej (brak powierzchni odbijających). Rzut komory badawczej oraz przekrój przez komorę wraz z punktami pomiarowymi, zaznaczoną próbką w postaci ekranu z reduktorem i bez reduktora oraz źródło dźwięku pokazano na rys.7 i 8.



Rys.7. Komora pogłosowa wraz z naniesionymi punktami pomiarowymi, umiejscowieniem ekranu oraz źródła dźwięku –przekrój.
Fig.7. Reverberation chamber with draw of measurements points, sound barrier and sound source - elevation.



Rys.8. Komora pogłosowa wraz z naniesionymi punktami pomiarowymi, umiejscowieniem ekranu oraz źródła dźwięku - rzut.

Fig.8. Reverberation chamber with draw of measurements points, sound barrier and sound source - intersection.

Metodyka wyznaczania skuteczności ekranów akustycznych zawarta w normie [13] polega na wykonaniu pomiarów ciśnienia akustycznego przed i po zainstalowaniu badanego urządzenia. Następnie określana jest skuteczność badanego ekranu akustycznego oznaczana jako ΔL_E . Jest ona wyznaczana na podstawie zależności:

$$\Delta L_E = L_{r,A} - L_{r,B} \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie:

$L_{r,B}$ – poziom ciśnienia akustycznego „przed” instalacją, w punkcie odbioru;

$L_{r,A}$ – poziom ciśnienia akustycznego „po” instalacji, w punkcie odbioru;

W komorze znajdowały się 4 punkty pomiarowe w rozstawie co 1m licząc od ekranu akustycznego (rys. 6, 7). W każdym z punktów pomiary prowadzone były w przekrojach pomiarowych odpowiednio dla wysokości w zakresie od 1m do 3,5m ze skokiem 0,5m. Stworzona w ten sposób siatka punktów pozwoliła określić rozkład pola akustycznego za ekranem akustycznym. Zgodnie z prezentowanymi założeniami normy [13] przeprowadzone zostały badania pustej komory akustycznej. Następnie badania komory z zamontowanym ekranem akustycznym oraz ekranem z dołożonym krawędziowym reduktorem hałasu w miejsce jednego panelu ekranu tak aby sumaryczna wysokość samego ekranu jak i ekranu z nakładką były takie same. Wysokość ekranu i ekranu z nakładką wynosiła 1,5m. Źródło dźwięku znajdowało się w odległości 1,25m od ekranu na wysokości 0,5m. Celem minimalizacji błędu pomiarowego każdy pomiar w danym punkcie i przekroju pomiarowym powtarzany był sześciokrotnie. Uzyskany wynik pomiaru w postaci widma hałasu stanowił średnią z sześciu pomiarów dla każdej mierzonej częstotliwości.

2.2. Sprzęt pomiarowy

Zestaw nadawczo odbiorczy składał się w części nadawczej z kuli głośnikowej o wszechkierunkowej charakterystyce propagacji dźwięku oraz generatora szumu różowego firmy Swantek. Część odbiorczą stanowił miernik całkujący klasy I typu Swan 958 wraz z dwoma zestawami mikrofonów również firmy Swantek.

2.3. Charakterystyka częstotliwościowa źródła dźwięku

W trakcie badań używano sygnału w postaci szumu różowego o dużym natężeniu. Zgodnie z wytycznymi normy [13] uzyskane widmo w zakresach tercjowych ograniczono do przedziału od 50 Hz do 5000 Hz. Przedział ten stanowił podstawę do wyznaczenia średnich poziomów dźwięku w punktach pomiarowych.

3. UZYSKANE WYNIKI POMIARÓW

Uzyskane na podstawie obliczeń wyniki skuteczności ekranowania ΔL_E dla ekranu o wysokości 1,5m, ekranu 1,0m i nakładki redukującej 0,5m oraz rzeczywistej skuteczności samej nakładki redukującej zestawiono w formie tabelarycznej (Tabela 1, 2, 3). Wyniki pomiarów dotyczące poziomów dźwięku (podane w dB) odnotowanych w obszarze za ekranem zestawiono w formie map rozkładu poziomu dźwięku (rys. 9, 10). Obszary pozytywnego i negatywnego oddziaływania nakładki przedstawiono również na rys. 11.

Tabela 1. Zestawienie skuteczności ekranowania ekranu o wysokości 1,5m.

Table 1. Statement of effectiveness of barrier's screening for 1.5m of high.

Przekroje pomiarowe	Ekran o wysokości 1,5m			
	Kolejne punkty pomiarowe (wyniki w dB)			
	4m	3m	2m	1m
3,5m	3,94	4,40	2,84	1,12
3,0m	5,33	5,11	3,89	2,57
2,5m	5,76	5,61	4,98	4,34
2,0m	6,49	6,88	6,49	7,15
1,5m	8,69	9,16	8,68	8,46
1,0m	9,24	9,45	8,94	9,12

Tabela 2. Zestawienie skuteczności ekranowania ekranu o wysokości 1,0m wraz z nakładką o wysokości 0,5m.

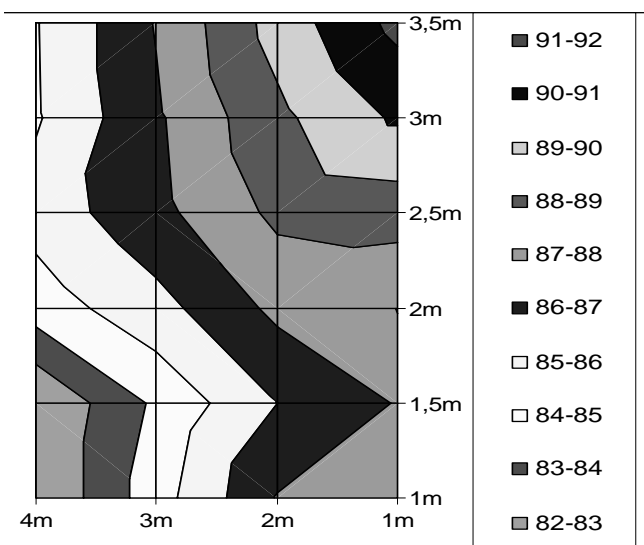
Table 2. Statement of effectiveness of barrier's screening for 1.0m of high together 0.5m high edge cover.

Ekran o wysokości 1,0m wraz z nakładką redukującą (sumaryczna wysokość 1,5m)				
Przekroje pomiarowe	Kolejne punkty pomiarowe (wyniki w dB)			
	4m	3m	2m	1m
3,5m	3,70	3,94	2,88	1,11
3,0m	5,18	4,78	3,83	2,85
2,5m	5,36	5,83	5,02	4,49
2,0m	6,13	6,98	6,82	7,38
1,5m	8,91	8,87	8,42	8,52
1,0m	9,49	9,48	9,05	9,49

Tabela 3. Zestawienie rzeczywistej skuteczności nakładki redukującej względem ekranu o takiej samej wysokości.

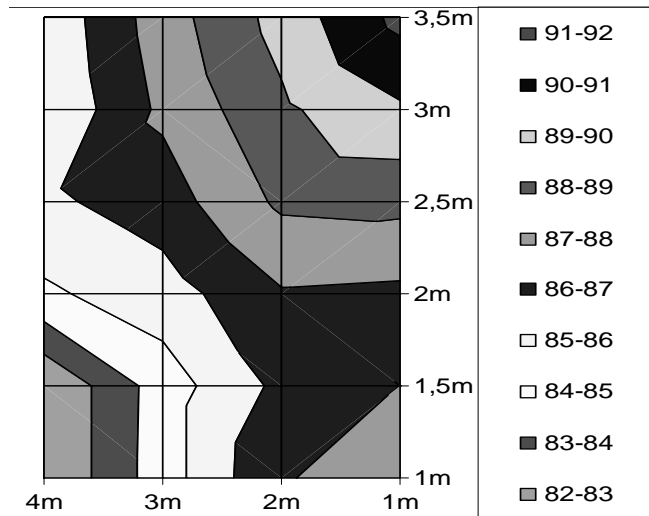
Table 3. Statement of appropriate effectiveness of edge cover comparison to the same barrier.

Rzeczywista efektywność nakładki redukującej względem ekranu o porównywalnej wysokości				
Przekroje pomiarowe	Kolejne punkty pomiarowe (wyniki w dB)			
	4m	3m	2m	1m
3,5m	-0,24	-0,46	0,04	-0,02
3,0m	-0,16	-0,33	-0,06	0,28
2,5m	-0,40	0,22	0,04	0,16
2,0m	-0,36	0,10	0,33	0,23
1,5m	0,22	-0,28	-0,26	0,06
1,0m	0,26	0,03	0,10	0,37



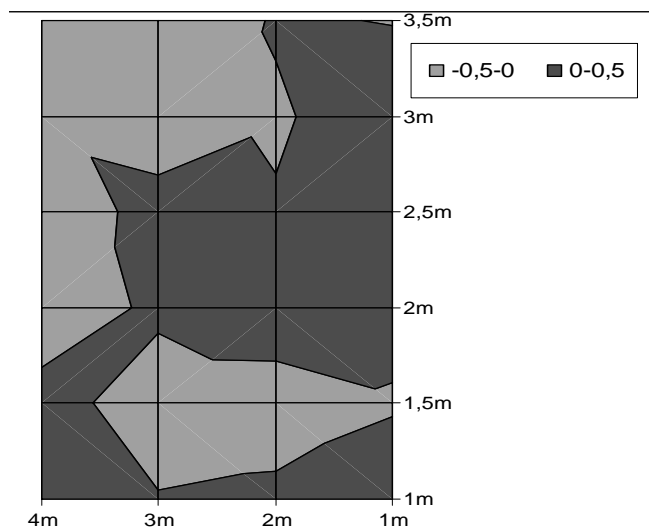
Rys.9. Rozkład poziomy dźwięku po stronie obserwatora dla ekranu 1,5m wysokości bez nakładki redukującej.

Fig.9. Sound level distribution for 1.5m high barrier on the observer side.



Rys.10. Rozkład poziomy dźwięku po stronie obserwatora dla ekranu 1m i nakładki 0,5m.

Fig.10. Sound level distribution for 1.0m barrier with 0.5m edge cover on the observer side.



Rys.11. Mapa rozkładu dodatniego (kolor bordowy) i ujemnego (kolor niebieski) wpływu stosowanej nakładki na efektywność ekranowania względem ekranu o tej samej wysokości..

Fig.11. Map of positive (bordo colour) and negative (blue colour) distribution of influence of using edge cover on the screening effectiveness.

4. WNNIOSKI I UWAGI KOŃCOWE

Przeprowadzony eksperyment wykazał dla tak zadanych parametrów stosunkowo niewielką skuteczność nakładki krawędziowej prezentowanego typu. Zaprezentowane na rys. 9, 10 wartości zarówno w przekrojach pionowych jak i poziomych nie wskazują na wyraźną skuteczność nakładki

krawędziowej w którymś przekroju. Przyjmuje się iż nakładka krawędziowa poprzez zmianę kształtu oraz wpływ pochłaniania materiału wpływa na zjawiska dyfrakcyjne zachodzące na krawędzi ekranu powodując zwiększenie kąta wyznaczającego cień akustyczny za ekranem. Obszar cienia akustycznego jest obszarem o największej skuteczności działania ekranu akustycznego. Prezentowana na rys. 11 mapa obszarów negatywnego i pozytywnego oddziaływania nakładki może wskazywać na pewne możliwości wykorzystania tego elementu w bezpośredniej bliskości ekranu. Badania modelowe prezentowane w [15] wskazują na możliwości zwiększenia wpływu nakładki w przypadku większych odległości (proporcjonalnie do wielkości modelu ekranu) niż dla odległości prezentowanych w tym opracowaniu. Zagadnienie to wymaga jednak dalszych badań zarówno modelowych jak i terenowych.

Należy, w oparciu o wartości rzeczywistej skuteczności nakładki redukującej (Tabela 3) uznać, iż wpływ nakładki na efektywność ekranowania ujawnia się tylko lokalnie. Sumaryczna średnia wartość efektywności ekranowania dla 24 punktów pomiarowych w przypadku ekranu o wysokości 1,5m wraz z nakładką 0,5m. Co do wartości jest to 6,19 dB. Nie wielka skuteczność prezentowanego rozwiązania może być związana z niedostateczną wielkością nakładki (w uproszczeniu średnicą). Drugim aspektem jest sama budowa nakładki gdzie część zawierająca materiały pochłaniające jest ograniczona do strony źródła hałasu natomiast po stronie chronionej materiał pochłaniający nie występuje, znajdują się tam jedynie puste komory obudowy.

EVALUATION OF INFLUENCE SHAPE MODIFICATION OF SOUND BARRIER UPPER EDGE ON THE ACOUSTIC FIELD DISTRIBUTION BY RECEIVER SIDE

Summary: Article presents model investigations of sound barrier in non-echo chamber in 1:1 scale together with some shape edge cover. Achieved results are a base to qualitatively and quantitatively evaluation of used edge cover design account distribution of sound field behind sound barrier on the receiver side as a results of used edge cover.

Literatura

- [1] Maekawa Z. Noise Reduction by Screens. Appl. Acoust. 1 (3), 157-173, 1968
- [2] Tatge R.B. Barrier-wall attenuation with a finite sized source. J. Acoustic Soc. America. 1973;10; s1317-9
- [3] Rathe E.J. Note on two common problems of sound propagation. J. Sound Vibr. 1969;10 s472-9
- [4] Kurze U.J., Anderson G.S. Sound Attenuation by Barriers. Appl. Acoustic 4, 35-53, 1971
- [5] Lam Y.W., Roberts S.C. A simple method for accurate prediction of finite barrier insertion loss. J. Acoustic. Soc. America, 1993; 93, s1445-52

[6] Wirst L.S. The control of diffracted sound by means of thnadners (shaped noise barriers). Acoustica 1979;42, s 73-85

[7] Hothersall D.C., Crombie D.H., Handler-Wilde SN. The performance of T-profile and asociated noise barriers. Applied Accoustic 1991:32; s269-81

[8] Okuboto T., Fujiwara K. Efficiency of a noise barrier with an acoustically soft cylindrical edge for practical use. J Acoust Soc America 1999;106(6) s3326-34

[9] Marchacz M. Praca doktorska, 2010, s50-51

[10] Egan C.A., Chilekwa V., Oldham D.J. An investigation of the use of top edge treatments to enhance the performance of a noise barrier using the boundary element method. The Thirteenth International Congress on Sound and Vibration, Wiena, Austria, July 2-6 2006

[11] Marchacz M., Żuchowski R., Evaluation of the effectiveness of screening with noise barriers with account to an edge noise reducer” - The Journal Architecture • Civil Engineering • Environment – ACEE, s49-56, 3/2009

[12] <http://www.signalco.pl/?lang=1&page=3&div=80>

[13] PN EN ISO 10847 - Akustyka. Wyznaczanie "in situ" skuteczności zewnętrznych ekranów akustycznych wszystkich rodzajów

[14] CEN/TS 1793-4:2003 - Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance - Part 4: Intrinsic characteristics - In situ values of sound diffraction

[15] Okuboto T. Fujiwara K. Efficiency of a noise barrier with en acoustically soft cylindrical edge for practical use. J. Acoustic. Soc. Am. 105 (6) 1999. s.3326-3336