

## MECHANIK 7/2011

„XV Międzynarodowa Szkoła Komputerowego Wspomagania Projektowania, Wytwarzania i Eksploatacji”

Dr inż. Marianna KAZIMIERSKA-GREBOSZ  
Zakład Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej  
Politechnika Łódzka

## ZASTOSOWANIE KOTAR AKUSTYCZNYCH W CZASIE WYKONYWANIA PRAC REMONTOWYCH

*Streszczenie: W referacie przedstawiono wyniki badań doświadczalnych kotar akustycznych. Badane kotary zastosowane były na ogrodzenia placu, gdzie prowadzono prace remontowe. Źródłem dźwięku (hałasu) były małe maszyny robocze do prac ziemnych. Wyniki badań doświadczalnych porównano z wynikami podobnych badań z zastosowaniem przenośnych ekranów akustycznych obniżających hałas powstały podczas pracy tych samych maszyn. W badaniach wykorzystano program Noise Explorer – Type 7815. Analiza otrzymanych wyników pozwoliła na sformułowanie wniosków o praktycznym zastosowaniu.*

## THE APPLICATION OF ACOUSTIC CURTAINS DURING THE RENOVATIONS WORKS

*Abstract: This paper presents the results of experimental studies of acoustic curtains. The tested curtains were used on the fence of square where the renovations works were carried out. The small working machines for earthworks were the source of sound (noise). The results of experimental studies were compared with the results of similar studies with the application of mobile acoustic screens during the work of the same machines. The program Noise Explorer – Type 7815 was used during researches. The analysis of obtained results allowed to formulate the conclusions which have a practical application.*

### 1. WPROWADZENIE

W miastach powyżej stu tysięcy mieszkańców opracowywane są mapy stanu akustycznego środowiska i mapy konfliktów akustycznych, obrazujące zagrożenia środowiska hałasem pochodzącym z różnych typów źródeł. Z analizy map już wykonanych wynika, że poziom hałasu w dużych miastach jest znacząco przekroczony. Dopuszczalny poziom hałasu na terenach w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tysięcy mieszkańców wynosi, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 14.06.2007 (poz. 826), 65-55 dB (dla przedziału czasu odniesienia równego 16 i 8 h). Jak wynika z mapy akustycznej Łodzi, przekroczenia w tej strefie sięgają 20 dB. W środowisku miejskim o poziomie hałasu decyduje w głównej mierze hałas komunikacyjny. Hałas komunikacyjny to hałas emitowany przez środki transportu i komunikacji drogowej, komunikacji kolejowej, komunikacji lotniczej i wodnej. Poziom hałasu komunikacyjnego jest zróżnicowany, obejmuje największą grupę ludności i dlatego jest obiektem szczególnej uwagi. Opracowując mapy akustyczne środowiska miejskiego, nie uwzględnia się hałasu pochodzącego od robót drogowych. Hałas od robót drogowych, pomimo krótkotrwałego i lokalnego charakteru, narusza stan akustyczny środowiska i zwiększa przekroczenia dopuszczalnego normami hałasu [3]. Przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu w środowisku, przez małe maszyny robocze

do prac ziemnych, pracujące w czasie prac remontowych (młot pneumatyczny, piły do betonu i zagęszczarki) wynoszą od 20 do 40 decybeli (w odniesieniu do 65 dB) [5].

Gęsta i zwarta zabudowa miejska ogranicza w wielu przypadkach stosowanie komunikacyjnych ekranów akustycznych. Możliwe jest jednak stosowanie metod zabezpieczenia przed hałasem powstającym w czasie remontów dróg i ulic, które to remonty prowadzone są w długim okresie czasu. Pozwoli to na ograniczenie wzrostu poziomu hałasu na terenie wokół prowadzonych robót.

## 2. BADANE METODY ZABEZPIECZENIA PRZED HAŁASEM

Najczęściej stosowanymi zabezpieczeniami przed wysokim poziomem hałasu są ekrany akustyczne. Ekran akustyczny definiuje się jako naturalną lub sztuczną przegrodę na drodze fali dźwiękowej pomiędzy źródłem a odbiorcą. Istotne jest, aby ekran przesłaniał trasy geometryczne fali dźwiękowej ze wszystkich punktów źródła hałasu do obszaru chronionego. Skutkiem zastosowania ekranu pomiędzy źródłem hałasu a odbiorcą jest powstanie „cienia akustycznego”, do którego dochodzą tylko fale dźwiękowe ugięte na krawędzi ekranu. Ekrany akustyczne stosowane są w pomieszczeniach zamkniętych i w przestrzeni otwartej. Ekrany akustyczne umieszczone w przestrzeni otwartej znajdują szersze zastosowanie aniżeli ekrany w pomieszczeniach. Składa się na to kilka czynników. Hałas środowiskowy oddziałuje na znacznie większą liczbę ludności niż hałas w miejscach pracy (w pomieszczeniach), hałas ten stale zwiększa się, natomiast od kilku lat obserwujemy skuteczną ochronę miejsc pracy przed hałasem innymi metodami. Skuteczność ekranowania w środowisku zewnętrznym jest wyższa aniżeli w pomieszczeniach [2].

Wielkością, która określa skuteczność ekranu akustycznego jest efektywność akustyczna  $IL$  (Insertion Loss) oznaczana również symbolem  $\Delta L_e$ :

$$IL(\Delta L_e) = L_2 - L_1 \quad (1)$$

$L_1$  – poziom ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji przed zastosowaniem ekranu w dB,  
 $L_2$  – poziom ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji po zastosowaniu ekranu w dB.

W literaturze przedmiotu istnieje wiele podziałów ekranów akustycznych ze względu na różne kryteria, wśród nich ze względu na mobilność. Rozróżniamy ekrany stacjonarne oraz przenośne. Ekrany stałe to najczęściej ekrany przy trasach komunikacyjnych, są one obszernie opisane w literaturze [6]. Znacznie skromniej przedstawiają się badania nad mobilnymi ekranami. Ekrany przenośne stosowane są dotychczas rzadko. Obecnie produkowane przenośne ekrany akustyczne posiadają duży ciężar od 100 do 330 kg, a zatem ich mobilność jest ograniczona. Przykład takiego ekranu pokazano na rys. 1. Jest to mobilny ekran akustyczny o wysokości 2 200 mm, ciężarze 330 kg. Ekran ten umieszczony jest na podwoziu.



## Rys. 1. Ekran produkowany przez firmę Pascal

W Zakładzie Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej prowadzone były badania nad przenośnymi ekranami akustycznymi, które znalazłyby zastosowanie jako zabezpieczenia przed hałasem emitowanym przez małe maszyny do prac ziemnych. Wyniki tych prac przedstawione zostały między innymi na obradach XIV Szkoły KWPWiE. Przedstawiono wyniki badań pięciu modeli przenośnych ekranów akustycznych, które zastosowano podczas pracy małych maszyn do prac ziemnych, takich jak młoty pneumatyczne, piły do betonu czy zagęszczarki. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez badane maszyny, po zastosowaniu modeli ekranów, stwierdzono w przypadku wszystkich zbudowanych modeli. Wielkość IL była różna dla różnych ekranów, jak również dla różnych częstotliwości emitowanego hałasu. Najniższą skuteczność wszystkie badane ekrany wykazały dla częstotliwości 125-250 Hz. IL wynosiła wtedy 2-6 dB. Należy zaznaczyć, że w tym zakresie najniższy był również poziom emitowanego hałasu. Dla częstotliwości 1 000-8 000 Hz izolacyjność efektywna ekranów sięgała nawet 15-19 dB.

Otrzymane wyniki pomiarów obniżenia poziomu hałasu maszyn w czasie prac remontowych, skłoniły do kontynuacji badań. Małe przenośne ekrany akustyczne pozwalają na łatwe ich umieszczanie i przemieszczanie, mają jednak spore ograniczenia przy ich zastosowaniu. Ograniczeniem tym jest konieczność umieszczania ekranów w pobliżu pracującej maszyny, wtedy ich efektywność akustyczna jest najwyższa. Dlatego dalsze prace nad biernymi metodami zabezpieczenia przed hałasem powstającym w czasie prac remontowych skupiły się na kotarach akustycznych. Takie elementy akustyczne można stosować w różnych odległościach od pracujących maszyn.

### 3. BADANIA DOŚWIADCZALNE

#### 3.1. Warunki przeprowadzania pomiarów

Doświadczalne badania kotar akustycznych zostały przeprowadzone w czasie pracy maszyn, które były wcześniej badane z zastosowaniem przenośnych modeli ekranów. Ograniczono się do czterech maszyn emitujących najwyższy poziom dźwięku. Pomiar przeprowadzono na otwartej przestrzeni. Warunki, w jakich maszyny wykonywały pracę, były zbliżone do pracy z modelami ekranów. Pozwoliło to na dokonanie porównania efektywności akustycznej modeli. Badania doświadczalne poziomu hałasu powstającego przy pracy maszyn wykonano zgodnie z zaleceniami PN-N-01341, PN-ISO 1996-1, PN-N-01307 [3]. Zmierzono równoważny poziom dźwięku A,  $L_{Aeq,T}$ :

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[ \frac{1}{T} \int_0^T \left( \frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (2)$$

T[s] – czas ekspozycji, w s w ciągu dnia roboczego,

$p_A(t)$ [Pa] – wartość chwilowa ciśnienia akustycznego, skorygowana wg charakterystyki A.

Pomiary równoważnego poziomu dźwięku A ( $L_{eq}$ ) wykonano precyzyjnym całkującym miernikiem dźwięku Typ 2238A firmy *Briel & Kjaer* z filtrem oktaowym. Pomiar wykonano w ośmiu punktach pomiarowych w odległości 2 m i 4 m od maszyny. W tych samych punktach wykonano pomiary  $L_{eq}$  po zastosowaniu kotar akustycznych, które umieszczono w stałym miejscu. Były one zawieszane na metalowych panelach zabezpieczających miejsce robót lub ogrodzeniach placu budowy. Odległość mikrofonu od

kotary wynosiła 1 m. Ze względu na rzeczywiste, zmieniające się warunki pomiarów, pomiary w ośmiu punktach powtarzane były wielokrotnie, w różnym czasie, w celu uzyskania najbardziej wiarygodnych wyników. Czas trwania pomiarów był różny – od 2 do 15 min, zależało to od czasu prowadzonych prac remontowych. Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano program *Noise Explorer* Type 7815. Jest to program do zapisywania, pobierania i przetwarzania danych pomiarowych poziomu dźwięku z mierników firmy *Brüel & Kjær* (rys. 2). *Noise Explorer* wykorzystuje unikatowy sposób prezentacji danych. Istnieje wiele sposobów przetwarzania danych w ramach *Noise Explorer*, każdy zaprojektowany tak, aby umożliwić zaprezentowanie wyników w wybranej formie. *Noise Explorer* Type 7815 jest oprogramowaniem opartym o system i interfejs Windows. Przekazywanie danych następuje za pomocą interfejsu RSA 232 (do 115 200 bps) lub za pośrednictwem karty PCMCIA.

Zastosowanie programu:

- bezpośrednie przekazywanie danych pomiarowych z mierników poziomu dźwięku do notebooka w czasie trwania pomiarów
- formatowanie danych poprzez eksport do arkuszy kalkulacyjnych
- obróbka danych pomiarowych
- wyświetlanie wyników pomiarów w formie tabelarycznej
- drukowanie wyników pomiarów
- przechowywanie danych pomiarowych
- określenie mocy akustycznej.

The screenshot shows the Noise Explorer software interface with three overlapping windows displaying measurement data. Each window contains a table with the following columns: Start time, End time, Elapsed time, Overload [%], L<sub>Cpeak</sub> [dB], L<sub>Amax</sub> [dB], and L<sub>Aeq</sub> [dB].

Measurement	Start time	End time	Elapsed time	Overload [%]	L <sub>Cpeak</sub> [dB]	L <sub>Amax</sub> [dB]	L <sub>Aeq</sub> [dB]
001.M26	11:46:15	11:46:29	0:00:08	18,02	115,8	91,3	80,1
002.M26	11:55:43	11:55:53	0:00:10	0,00	99,2		
007.M26	12:00:11	12:00:27	0:00:16	0,00	71,3	80,0	103,1

Rys. 2. Prezentacja wyników poszczególnych pomiarów wykonanych przy użyciu *Noise Explorer* Type 7815

### 3.2. Przedmiot badań

Do badań wybrano maszyny o małych wymiarach, które były wykorzystywane w czasie badań przenośnych modeli ekranów akustycznych i emitowały hałas o wysokim poziomie. Były to (rys. 3):

- piła tarczowa do drewna,
- piła tarczowa do betonu,
- młot udarowy,
- szlifierka do metalu.

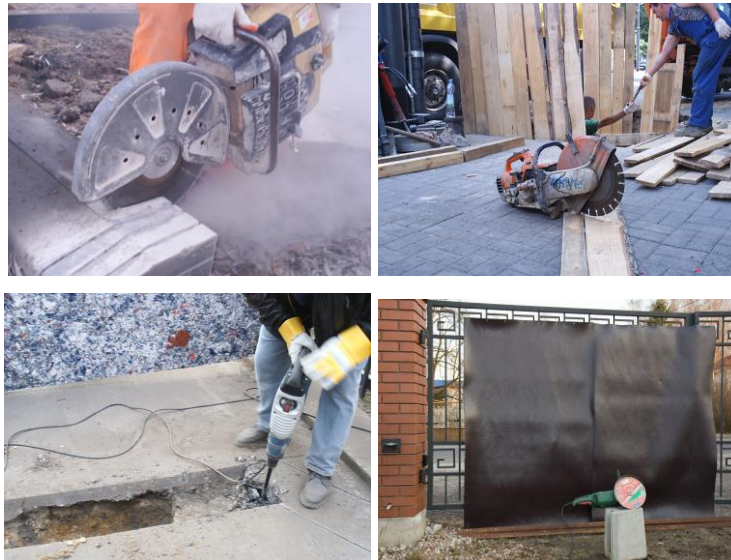
Wybrane maszyny były maszynami używanymi od kilku lat, wszystkie posiadały oznaczenia CE i oznaczenia poziomu mocy akustycznej.

Biorąc pod uwagę podział hałasu, hałas wytwarzany przez badane maszyny można zakwalifikować jako:

- hałas zewnętrzny,
- hałas słyszalny,
- hałas chwilowy – przerwy w emisji są dłuższe niż 2 minuty, maszyny nie pracują przez minimum 5 godz., przy zmianach poziomu hałasu maksymalnie o 5 dB,
- hałas uderzeniowy – hałas części maszyn charakteryzował się szybką fluktuacją poziomu ciśnienia akustycznego w czasie,
- hałas instalacyjny – źródła przemysłowe.

Biorąc pod uwagę klasyfikacje źródeł drgań mechanicznych i akustycznych, źródło energii wibroakustycznej badanych maszyn można przyjąć jako teoretyczny model promieniowania – źródło punktowe.

Biorąc pod uwagę podział źródeł energii wibroakustycznej ze względu na fizyczne przyczyny promieniowania, badane maszyny zakwalifikować należy do źródeł mechanicznych i technologicznych. Źródłami hałasu powstającego w czasie pracy maszyn są drgania materiałowo-strukturalne pochodzenia mechanicznego, technologicznego i elektrycznego.



Rys. 3. Przykłady badanych maszyn roboczych

Dla dwóch maszyn wykonano pomiary hałasu dla częstotliwości 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000 i 8000 Hz. Dla wszystkich częstotliwości powtarzano pomiary wielokrotnie. W przypadku pozostałych maszyn mierzono równoważny poziom dźwięku A. Podczas wykonywania wszystkich pomiarów mierzono poziom tła akustycznego.

Zmieniające się tło akustyczne, warunki pracy maszyn (na przykład rodzaj obrabianego materiału) oraz pojedyncze przypadkowe sygnały akustyczne o wysokim poziomie były brane pod uwagę podczas analizowania wyników pomiarów.

Celem badań było określenie możliwości obniżenia wysokiego poziomu hałasu powstającego w czasie prac remontowych przez małe maszyny do prac ziemnych poprzez zastosowanie kotar akustycznych oraz porównanie ich efektywności z efektywnością akustyczną badanych dotychczas małych, przenośnych ekranów akustycznych [5].



Wykonano i zbadano kotary akustyczne z gumy akustycznej (nazwa fabryczna folia) FD2 firmy „SEMAG” o grubości około 2 mm (w rolkach o szerokości 1,1 m) średnia izolacyjność właściwa tego materiału wynosi  $R_w = 25$  dB. Jest to materiał niepalny oraz odporny na zmienne warunki atmosferyczne. Wymiary kotar:

- kotara A – szerokość 1,74 m , wysokość 0,88 m,
- kotara B – szerokość 2,5 m , wysokość 0,88 m,
- kotara C – szerokość 1,1 m , wysokość 1,65 m,
- kotara D – szerokość 2,2 m , wysokość 1,65 m.

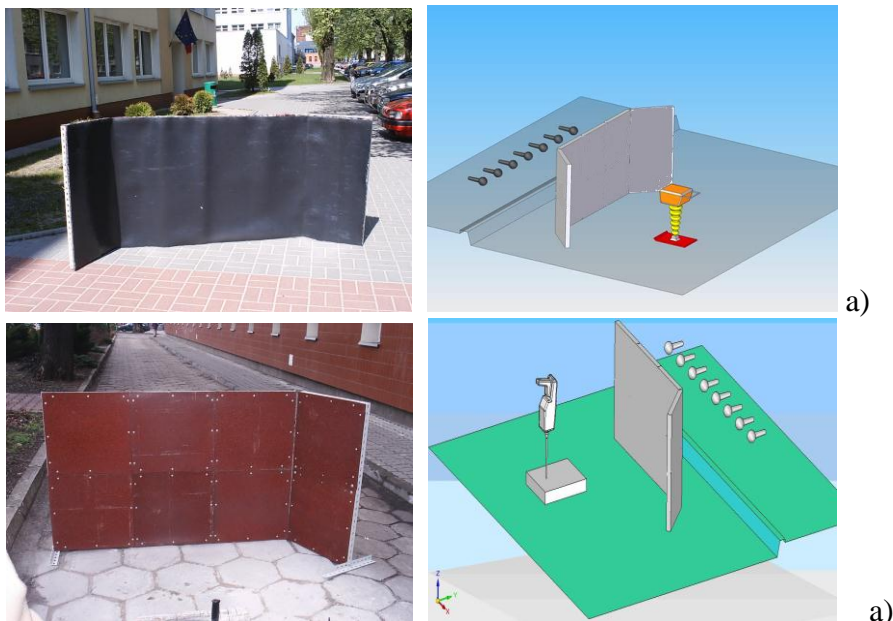
Wymiary kotar dobrane były do wymiarów paneli i ogrodzenia, na których zostały zawieszane na hakach. Montaż i demontaż kotar był prosty, pozwalał na umieszczanie ich w różnych konfiguracjach.

W celu porównania efektywności akustycznej badanych kotar i modeli przenośnych ekranów akustycznych, powtórzono pomiary równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez wybrane maszyny po zastosowaniu modeli przenośnych ekranów. Do przeprowadzenia analizy porównawczej wybrano dwa modele ekranów:

- prostokątny ekran o wymiarach 1,5 x 1,5 m, wykonany z gumy akustycznej o grubości 2 mm, ekran posiadał dwa odchylane skrzydła o wymiarach 1,5 x 1 m, model I, model ten wykonany był z tego samego materiału co kotary;
- prostokątny ekran o wymiarach 1,5 x 1 m z odchylanym bocznym skrzydłem o wymiarach 0,5 x 1 m, wykonany z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm, model II, średnia izolacyjność właściwa tego materiału –  $R_w = 35$  dB,

Badane kotary akustyczne i modele ekranów akustycznych przedstawiono na rys. 4a i b.

Wykonano pomiary poziomu hałasu emitowanego przez maszyny z zastosowaniem kotar akustycznych, zmieniając odległość maszyny od zawieszanej kotary akustycznej. Pomiary wykonane zostały w tych samych punktach pomiarowych dla kotar i modeli ekranów.



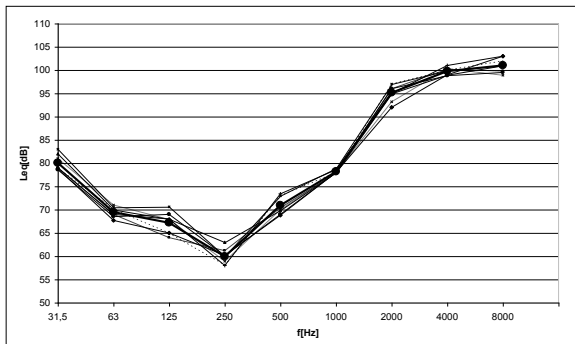


Rys. 4. Modele: a) przenośnych ekranów, b) kotar

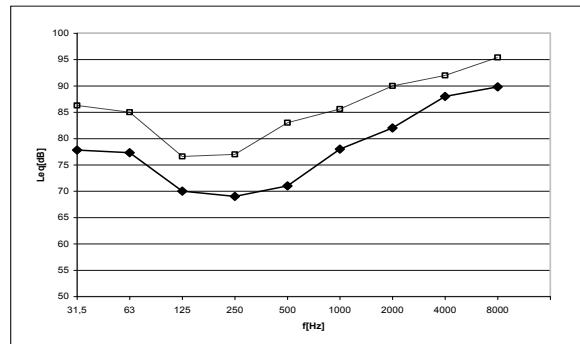
### 3.3. Wyniki pomiarów

Pomiary poziomu hałasu maszyn były przeprowadzane w warunkach rzeczywistych w czasie prac remontowo-budowlanych. Wyniki pomiarów przedstawione zostały w postaci wykresów:

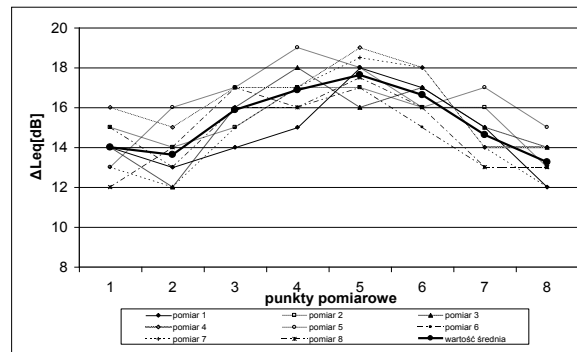
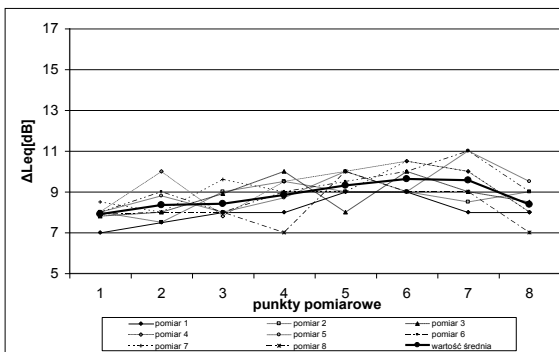
- poziomu hałasu maszyn w funkcji częstotliwości (rys. 5),
- poziomu hałasu maszyn w funkcji częstotliwości z zastosowaniem kotar i modeli ekranów (rys. 6),
- obniżenia poziomu hałasu po zastosowaniu kotar i modeli ekranów w poszczególnych punktach pomiarowych (rys. 7 i 8),
- wpływu odległości maszyn od kotar na obniżenie poziomu hałasu (rys. 9),
- porównanie wielkości obniżenia poziomu hałasu po zastosowaniu kotar i modeli ekranów (rys. 10).



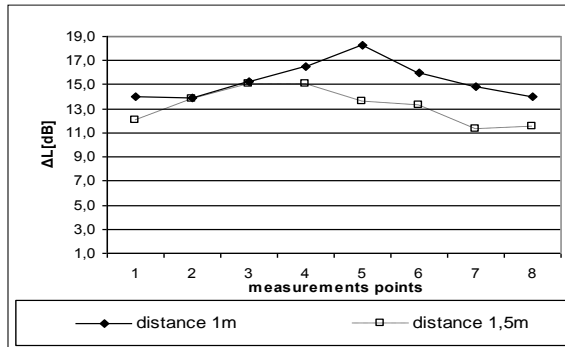
Rys. 5. Uśredniony poziom hałasu w funkcji częstotliwości, emitowany podczas pracy piły do betonu



Rys. 6. Porównanie poziomu hałasu podczas pracy szlifierki bez i z zastosowaniem kotary C

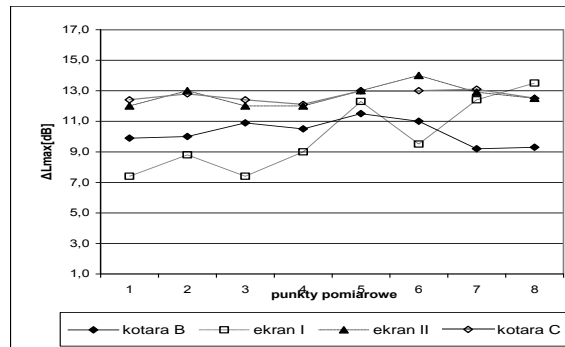


Rys. 7. Obniżenie poziomu hałasu z zastosowaniem kotary D, podczas pracy młota. Mikrofon w odległości 3 m od kotary



Rys. 9. Wpływ odległości maszyny od kotary na obniżenie poziomu hałasu, praca piły do betonu, kotara D

Rys. 8. Obniżenie poziomu hałasu z zastosowaniem kotary D podczas pracy młota. Mikrofon w odległości 1 m od kotary



Rys. 10. Porównanie obniżenia hałasu poprzez zastosowanie kotar i modeli ekranów. Praca piły do drewna, odległość maszyny 1 m, odległość mikrofonu od kotary 1,5 m

#### 4. WNIOSKI

1. Badane maszyny emitowały do środowiska hałas o poziomie znacznie przekraczającym poziomy dopuszczalny. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Środowiska z dnia 14.06.2007, na terenie na którym prowadzone były prace (obszar poza strefą śródmiejską), dopuszczalny poziom hałasu w porze dziennej nie może przekraczać 55 dB. Przekroczenia tego poziomu sięgały od 30 do 45 dB. Badane maszyny pracują okresowo, przekroczenia równoważnego poziomu dźwięku A w stosunku do 8 h są mniejsze i zależą od czasu pracy maszyn.
2. Stwierdzono obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez badane maszyny do środowiska po zastosowaniu kotar akustycznych, w przypadku wszystkich zbudowanych modeli. Wielkość IL była różna dla różnych typów kotar, wynosiła od 5 do 16 dB. Nie zaobserwowano istotnych różnic dla różnych częstotliwości emitowanego hałasu, jak miało to miejsce w przypadku przenośnych modeli ekranów.
3. Wraz ze wzrostem odległości punktów pomiarowych od kotary, malała o około 60% ich efektywność akustyczna.
4. Zwiększenie o 50% odległości pracującej maszyny od kotary nie miało znaczącego wpływu na wielkość IL kotar, zmieniało tę wartość średnio o 2,5 dB, przy zmiennym tle akustycznym. Efektywność akustyczna przenośnych ekranów zmieniała się o 6-9 dB.
5. Porównano kotary akustyczne z dwoma modelami ekranów – jednym wykonanym z tego samego materiału, drugim wykonanym z materiału o wyższej izolacyjności właściwej. Stwierdzono, że skuteczność kotar wysokich z folii akustycznej jest zbliżona do skuteczności małych ekranów akustycznych wykonanych z materiałów o wyższej izolacyjności. IL badanych kotar jest natomiast wyższa od efektywności ekranów wykonanych z folii akustycznej.
6. Kotary akustyczne spełniają swoje zadanie również w odległości do 3 m od miejsca ich zawieszenia. Ich efektywność akustyczna jest mniejsza od dużych ekranów komunikacyjnych, posiadają jednak inne zalety. Kotary akustyczne są łatwe w montażu, łatwe w transporcie (można je zwijać), ich koszt wytwarzania jest niski. Jest (cena 1 m<sup>2</sup> folii wynosi ok. 34,5 zł). Kotary można stosować wszędzie tam, gdzie teren budowy jest ogrodzony np. panelami.



## LITERATURA

- [1] Engel Z.: *Wibroakustyka maszyn i środowiska*, Wiedza i życie, Warszawa 1995.
- [2] Engel Z., Sikora J.: *Obudowy dźwiękochłonna-izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowanie*, Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
- [3] Gardziejczyk W.: *Problem hałasu od robót drogowych*, materiały konferencyjne, Kazimierz 2009.
- [4] Kazimierska M.: *Zastosowanie przenośnych ekranów akustycznych w celu obniżenia poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy małych maszyn roboczych do prac ziemnych*, Mechanik nr 7/2010.
- [5] Kazimierska M.: *Acoustic effectivity of screens used with small earth moving machines*, 9<sup>th</sup> international Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2009 September 2009 Vrnjačka Banja, Serbia.
- [6] Kucharski R.: *Podstawy stosowania ekranów akustycznych w środowisku*, Materiały Międzynarodowej Konferencji „Walka z hałasem na etapie projektowania”, 2003.