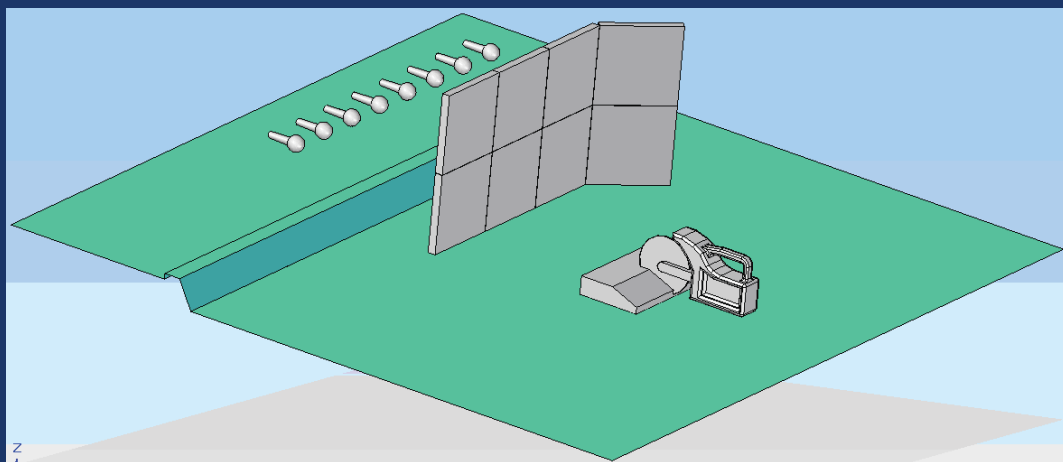


Marianna Kazimierska-Grębosz
Ryszard Grądzki

PRZENOŚNE EKRANY AKUSTYCZNE



Monografie Politechniki Łódzkiej
Łódź 2016

MARIANNA KAZIMIERSKA-GRĘBOSZ
RYSZARD GRĄDZKI

PRZENOŚNE EKRANY AKUSTYCZNE

Monografie Politechniki Łódzkiej
Łódź 2016

Recenzenci:
prof. dr hab. inż. Tadeusz Niezgodziński
dr inż. Joanna Kopania

Redaktor Naukowy Wydziału Organizacji i Zarządzania
prof. dr hab. inż. Jerzy Lewandowski

© Copyright by Politechnika Łódzka 2016

Projekt okładki
Marianna Kazimierska-Grębosz

WYDAWNICTWO POLITECHNIKI ŁÓDZKIEJ
90-924 Łódź, ul. Wólczańska 223
tel. 42-631-20-87, 42-631-29-52
fax 42-631-25-38
e-mail: zamowienia@info.p.lodz.pl
www.wydawnictwa.p.lodz.pl

ISBN 978-83-7283-786-8

Nakład 50 egz. Ark. druk. 12,0. Papier offset. 80 g, 70 x 100
Druk ukończono w grudniu 2016 r.

Wykonano w Drukarni Quick-Druk, 90-562 Łódź, ul. Łąkowa 11
Nr 2192

SPIS TREŚCI

Wprowadzenie.....	5
1. Hałas środowiskowy	9
1.1. Podstawowe pojęcia związane z hałasem	9
1.2. Podział hałasu	10
1.3. Klasyfikacja źródeł drgań mechanicznych i akustycznych.....	12
1.4. Wielkości określające hałas środowiskowy (wskaźniki)	15
1.5. Aktualne przepisy prawne dotyczące hałasu w środowisku	17
1.6. Metody i środki ochrony przed hałasem	22
1.6.1. Techniczne metody zwalczania hałasu.....	23
1.6.2. Administracyjne metody zwalczania hałasu.....	28
2. Ekrany akustyczne	29
2.1. Pojęcie ekranu akustycznego	29
2.2. Podział ekranów akustycznych	30
2.3. Obliczenia ekranów akustycznych	35
2.4. Porównanie efektywności ekranowania obliczonej według przedstawionych metod obliczeniowych	41
2.5. Zalecenia dotyczące stosowania ekranów komunikacyjnych	43
2.6. Przykłady zastosowanych ekranów komunikacyjnych	44
3. Badania doświadczalne modeli ekranów akustycznych.....	46
3.1. Przedmiot badań – maszyny.....	46
3.2. Warunki przeprowadzania pomiarów	50
3.3. Przedmiot badań – modele ekranów akustycznych.....	52
3.4. Koszty wykonania modeli ekranów	58
3.5. Prezentacja wyników pomiarów	60
4. Analiza przeprowadzonych badań doświadczalnych	62
4.1. Charakterystyka poziomu hałasu emitowanego przez badane maszyny w funkcji częstotliwości	62
4.2. Porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu maszyn	63
4.3. Wpływ położenia punktu pomiarowego na zmierzony poziom hałasu maszyn.....	64
4.4. Wpływ odległości punktu pomiarowego od maszyny na zmierzony poziom hałasu	65
4.5. Przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu przez badane maszyny	66
4.6. Przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu przez badane maszyny	68
4.6.1. Efektywność akustyczna modeli ekranów w funkcji częstotliwości	68

4.6.2. Ocena skuteczności modeli osłon na przykładzie piły A	69
4.6.3. Efektywność akustyczna wybranych modeli ekranów	73
4.7. Analiza wpływu odchylenia skrzydeł modeli ekranów na ich efektywność akustyczną.....	77
4.8. Porównanie obniżenia równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu maszyn z zastosowaniem modeli ekranów	79
4.9. Porównanie efektywności ekranowania modeli ekranów	79
4.10. Wpływ tła akustycznego na wyniki pomiarów	82
4.11. Zasadność stosowania ekranów akustycznych w czasie pracy małych maszyn roboczych	83
Wnioski	84
Bibliografia.....	87
Spis rysunków	89
Spis tabel	92
Załączniki	93
Summary	192

Wprowadzenie

Hałas występujący w środowisku, nazywany hałasem środowiskowym lub hałasem zewnętrznym, dotyczy środowiska znajdującego się poza miejscem pracy, na zewnątrz budynków mieszkalnych. Hałas ten oddziałuje na wszystkich obywateli, jest zagrożeniem występującym we wszystkich elementach środowiska. W środowisku miejskim o poziomie hałasu decyduje w głównej mierze hałas komunikacyjny. Hałas komunikacyjny to hałas emitowany przez środki transportu, komunikacji drogowej, komunikacji kolejowej, komunikacji lotniczej i wodnej. Poziom hałasu komunikacyjnego jest zróżnicowany, obejmuje największą grupę ludności i dlatego jest obiektem szczególnej uwagi. Poziom hałasu komunikacyjnego w środowisku miejskim znacząco wzrasta, gdy na ulicach miast prowadzone są prace drogowe, które wykonywane są często bez wyłączenia ruchu. Wstępne pomiary hałasu, przeprowadzone w obrębie prac remontowych ulic oraz w budynkach przy arteriach komunikacyjnych na wybranym terenie miejskim, wskazują na przekroczenia dopuszczalnych wartości poziomu hałasu.

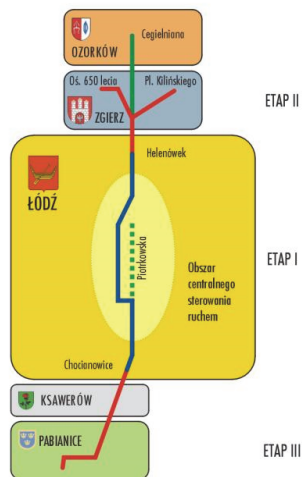
Zgodnie z zaleceniami Unii Europejskiej w miastach powyżej 100 tysięcy mieszkańców opracowywane są mapy stanu akustycznego środowiska i mapy konfliktów akustycznych, obrazujące zagrożenia środowiska hałasem pochodzącym z różnych typów źródeł. Mapa stanu akustycznego środowiska tworzona jest dla średnich lub średniorocznych wartości danych wejściowych, a więc z natury rzeczy nie odzwierciedla sytuacji akustycznej w konkretnej chwili czasu. 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.

Ocena emisji hałasu w otoczeniu robót drogowych jest zadaniem trudnym i złożonym, gdyż większość robót ma indywidualny charakter, zmienia się rodzaj stosowanego sprzętu, maszyn i urządzeń drogowych, zmienne są, szczególnie w miastach, rodzaje pojazdów poruszających się na terenie robót, występują różnice w zagospodarowaniu otoczenia, długości i szerokości pasa robót.

Obowiązkiem Państwa jest ochrona obywateli przed hałasem o wysokim poziomie, zarówno w miejscu pracy, jak i w środowisku. Najważniejsze akty prawne dotyczące hałasu środowiskowego z uwzględnieniem hałasu od maszyn pracujących na otwartej przestrzeni to:

- Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62) z uzupełnieniami, (tekst ujednolicony z dn. 16 05 2016).
- Dyrektywa nr 2000/14/WE dotycząca hałasu emitowanego przez maszyny używane na zewnątrz budynków. Dyrektywa ta została zmieniona 14 grudnia 2005 roku, przez Dyrektywę 2005/88/WE Parlamentu Europejskiego,
- Rozporządzenie z dnia 21 grudnia 2005 roku Ministra Gospodarki w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska.

Wyjątkowym przykładem naruszenia stanu akustycznego w mieście, w wyniku prac drogowych, jest Łódź. W mieście tym w latach 2007-2009 realizowany był projekt Łódzkiego Tramwaju Regionalnego. Pierwszy etap projektu ŁTR wynosił 13,5 km, a trasa przebiegała przez całe miasto. Prace drogowe odbywały się jednocześnie w wielu punktach miasta, bez wyłączenia ruchu pieszego, z częściowym wyłączeniem ruchu samochodowego.



Rys. 1.1. Obszar realizacji ŁTR i obszar badań hałasu w czasie prac drogowych

Źródło: opracowanie własne.

W latach 2009-2010 w Łodzi prowadzona była modernizacja sieci wodno-kanalizacyjnej, metodą reliningu. Modernizacja obejmuje 150 km sieci, a prace prowadzone były i będą w następnych latach, na stu ulicach miasta. Związane jest to z wykonaniem co 300 m wykopów ziemnych przy użyciu maszyn roboczych do prac ziemnych. Kolejnym przedsięwzięciem budowlanym w Łodzi była przebudowa w latach 2013-2015 trasy W-Z. W okresie dwóch lat mieszkańcy narażeni byli nie tylko na trudności komunikacyjne, ale również zwiększony poziom hałasu środowiskowego. Podobna sytuacja występuje podczas trwającej od kilku lat budowie Dworca Fabrycznego. W konsekwencji w latach 2007-2016 znaczący procent mieszkańców Łodzi narażony jest na ponadnormatywny hałas związany z robotami drogowymi.

Wynikiem opracowanej w 2008 roku mapy akustycznej Łodzi było stwierdzenie przekroczeń dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku, również na obszarze prowadzonych ww. prac drogowych, bez uwzględnienia źródeł hałasu, jakimi były maszyny budowlane.

Biorąc powyższe pod uwagę, należy dążyć do stosowania wszelkich możliwych metod zabezpieczenia przed hałasem powstającym podczas prowadzonych przez długi czas remontów dróg i ulic. Jednym ze sposobów ograniczania tego typu hałasu są mobilne małe ekrany akustyczne. Badania nad takimi ekranami prowadzone są w Zakładzie Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej

Wydziału Organizacji i Zarządzania PŁ. W latach 2008-2010 został zrealizowany Projekt badawczy NN523411835 – Opracowanie koncepcji obniżenia poziomu hałasu powstającego w czasie prowadzenia prac remontowych w strukturze miejskiej.

Niniejsza monografia jest, między innymi, rezultatem prac nad tym projektem. W następnych latach prace kontynuowano. Modele ekranów akustycznych były sprawdzane w różnych warunkach urbanistycznych. Rozszerzono badania nad ograniczeniem hałasu od maszyn budowlanych, wprowadzając kotary akustyczne¹. Wnioski sformułowane w projekcie potwierdziły się w badaniach prowadzonych w latach 2012-15.

Monografia zawiera część teoretyczną (rozdziały 2, 3), doświadczalną – (rozdział 3, 4 oraz załączniki), analizę przeprowadzonych badań doświadczalnych i podsumowującą pracę (rozdział 4, 5). W załącznikach zamieszczono wyniki pomiarów poziomów hałasu w czasie pracy badanych maszyn, bez zastosowania modeli ekranów i z ich zastosowaniem.

W części teoretycznej omówiono:

- Podział hałasu,
- Klasyfikację drgań mechanicznych i akustycznych,
- Wielkości określające hałas środowiskowy,
- Aktualne przepisy prawne dotyczące hałasu środowiskowego,
- Dopuszczalne poziomy dźwięku w środowisku,
- Metody i środki ochrony przed hałasem,
- Pojęcie i podział ekranów akustycznych,
- Metody obliczania efektywności ekranowania ekranów komunikacyjnych,
- Zalecenia dotyczące stosowania ekranów komunikacyjnych,
- Przykłady zastosowania ekranów komunikacyjnych.

W części doświadczalnej przedstawiono:

- Przedmiot badań – małe maszyny do prac ziemnych,
- Warunki przeprowadzania pomiarów poziomu hałasu w czasie pracy badanych maszyn,
- Rodzaje pomiarów,
- Zbudowane modele ekranów akustycznych, mogące znaleźć zastosowanie do ochrony przed hałasem małych niemobilnych maszyn do prac ziemnych,
- Materiały zastosowane do budowy modeli ekranów,
- Koszty wykonania wybranych modeli ekranów akustycznych.

W posumowaniu zawarto:

- Analizę poziomu hałasu w środowisku w czasie pracy badanych maszyn,
- Przekroczenia poziomów hałasu w środowisku w czasie pracy badanych maszyn w odniesieniu do aktów prawnych,
- Analizę efektywności ekranowania – Insertion Loss IL zbudowanych modeli ekranów. W analizie przedstawiono:

¹ Kazimierska-Grębosz M.: *Zastosowanie kotar akustycznych w czasie wykonywania prac remontowych*. Mechanik 7/2011, Agencja wydawnicza SIMP.

- wpływ rodzaju materiału na wielkość IL,
- wpływ odchylenia skrzydeł modeli ekranów na wielkość IL,
- wpływ położenia punktów pomiarowych na wielkość IL,
- wpływ wielkości modeli ekranów na wielkość IL,
- zależność wielkości IL od częstotliwości dźwięku,
- Wybór optymalnego ekranu,
- Zalecenia dotyczące stosowania ekranów akustycznych w celu poprawy komfortu akustycznego w środowisku miejskim w czasie prowadzenia drogowych prac remontowych.

1. Hałas środowiskowy

1.1. Podstawowe pojęcia związane z hałasem

Pod pojęciem hałasu rozumiemy wszelkie niepożądane, nieprzyjemne drgania, ośrodka sprężystego, działające za pośrednictwem powietrza na organ słuchu i inne zmysły oraz elementy organizmu człowieka². Ponadto obecnie hałasem nazywa się również mogące uszkadzać zdrowie, rozchodzące się w powietrzu fale akustyczne o częstotliwościach niewywołujących żadnych wrażeń słuchowych – infradźwięki i ultradźwięki.

Drgania te wywołują zmianę ciśnienia gazu w stosunku do wartości ciśnienia atmosferycznego. Zmiana ciśnienia przenosi się w postaci następujących po sobie lokalnych zagęszczeń i rozrzedzeń cząstek ośrodka w przestrzeń otaczającą źródło drgań, tworząc falę akustyczną. Ciśnieniem akustycznym p , wyrażonym w paskalach Pa, nazwano różnicę między chwilową wartością ciśnienia w ośrodku przy przejściu fali akustycznej a wartością ciśnienia akustycznego. Zakres zmian ciśnienia akustycznego jest szeroki: od $2 \cdot 10^{-5}$ do $2 \cdot 10^2$ Pa, dlatego powszechnie stosuje się skalę logarytmiczną używając tym samym pojęcia poziomu ciśnienia akustycznego L , wyrażonego w dB. Hałasem (wg POŚ) nazywa się dźwięki o częstotliwościach od 16 Hz do 16000 Hz. Hałas stanowi zbiór dźwięków o różnych wartościach ciśnienia akustycznego i różnych częstotliwościach. Analiza widmowa (częstotliwościowa) hałasu pozwala poznać rozkład dźwięków złożonych na sumę dźwięków prostych, tj. tonów.

Wibracją nazywa się drgania oddziałujące na organizm ludzki za pośrednictwem ciał stałych, mających kontakt bezpośredni z człowiekiem lub elementami środowiska pobudzanych do drgań³.

Hałas i wibracje są bezpośrednim zagrożeniem dla zdrowia człowieka, są również przyczyną powszechnej degradacji środowiska przyrodniczego, zakłócając podstawowe funkcje biosfery. Hałas i wibracje występują we wszystkich ekosystemach biosfery.

Środowiskiem jest ogół elementów przyrodniczych, w szczególności powierzchnia ziemi, kopaliny, wody, powietrze, świat roślinny i zwierzęcy, a także krajobraz, znajdujący się zarówno w stanie naturalnym, jak i przekształconym w wyniku działalności człowieka. W odniesieniu do zagadnień akustycznych przyjmuje się, że środowisko to obszar:

- poza granicą administracyjną jednostki organizacyjnej (np. zakładu przemysłowego),
- na zewnątrz budynków mieszkalnych i użyteczności publicznej.

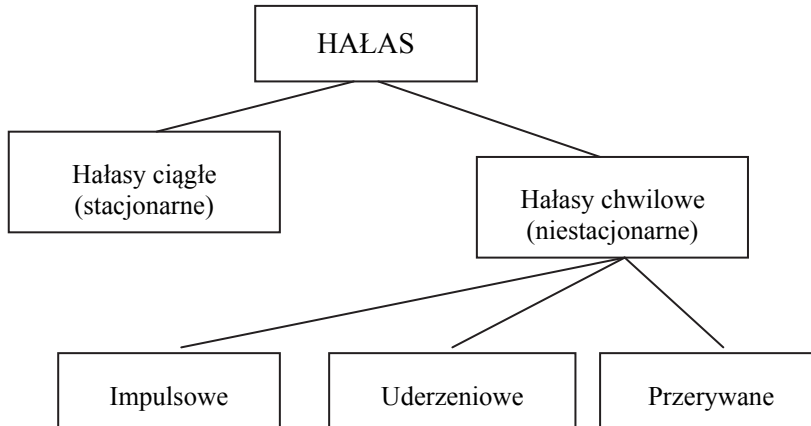
² Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.

³ Engel Z., *Wibroakustyka maszyn i środowiska*. Wiedza i życie, Warszawa 1995.

1.2. Podział hałasu

Hałas można podzielić ze względu na⁴:

- zakres częstotliwości:
 - **hałas infradźwiękowy** – w widmie występują składowe częstotliwościowe od 1 Hz do 20 Hz i o niskich częstotliwościach słyszalnych,
 - **hałas słyszalny** – w widmie występują składowe słyszalne częstotliwościowe od 20 Hz do 20 kHz,
 - **hałas ultradźwiękowy** – w widmie występują składowe częstotliwościowe od 10 kHz do 40 kHz i o wysokich częstotliwościach słyszalnych;
- charakter zmian poziomu ciśnienia akustycznego w czasie:
 - **hałasy ciągłe** powinny trwać nieprzerwanie (lub z przerwami nie dłuższymi niż 2 minuty) przez minimum 5 godz., przy zmianach poziomu hałasu maksymalnie o 5 dB,
 - **hałasy chwilowe** to wszystkie hałasy nie spełniające powyższego warunku,
 - **hałasy impulsowe** to hałasy o bardzo dużej zmianie poziomu hałasu w czasie 1 sekundy i mniejszym,
 - **hałasy uderzeniowe** charakteryzują się bardzo szybką fluktuacją poziomu ciśnienia akustycznego w czasie,
 - **hałasy przerywane** to te, których poziom dźwięku w określonym punkcie w czasie całego okresu obserwacji, zmienia się;



Rys. 1.2. Podział hałasu ze względu na oddziaływanie

Źródło: opracowanie własne.

- przyczynę powstawania i klasyfikację źródeł hałasu (omówione w p.1.3).
- środowisko, w którym występuje (hałas zewnętrzny i wewnętrzny).
- oddziaływanie na zdrowie człowieka oraz poziom hałasu (hałas uciążliwy i szkodliwy).

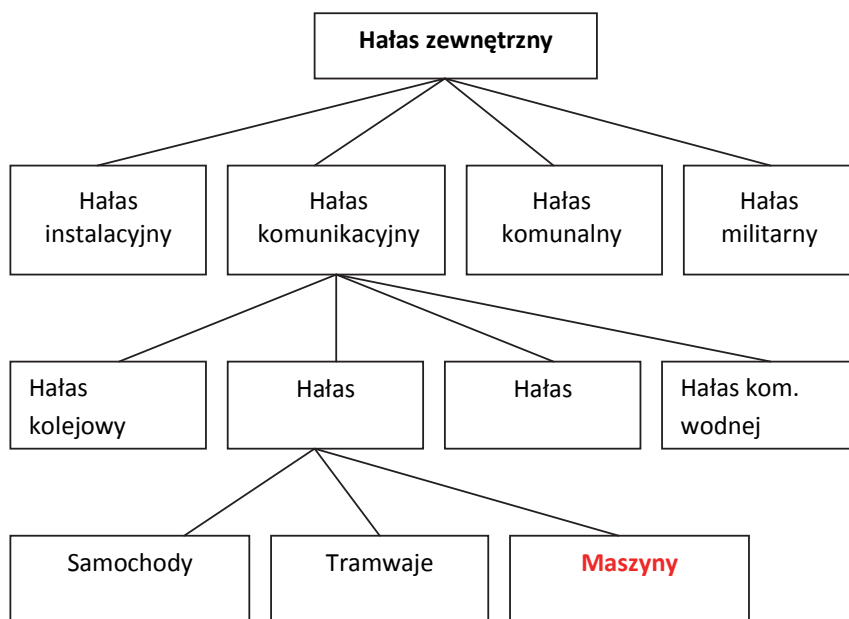
⁴ Puzyna Cz., *Ochrona środowiska pracy przed hałasem*, tom I. WNT, Warszawa 1982.

Podstawowym podziałem hałasu jest podział na hałas zewnętrzny oraz hałas wewnętrzny.

Hałas występujący w zdefiniowanym w p. 1.1 środowisku nazwano **hałasem środowiskowym** lub **hałasem zewnętrznym**, ponieważ dotyczy środowiska znajdującego się poza miejscem pracy, na zewnątrz budynków mieszkalnych. Hałas ten oddziałuje na wszystkich obywateli, jest zagrożeniem występującym we wszystkich elementach środowiska⁵.

Hałas występujący wewnątrz zamkniętych pomieszczeń nazwano **hałasem wewnętrznym**. Do zamkniętych pomieszczeń zalicza się, między innymi, hale i pomieszczenia przemysłowe, budynki mieszkalne i użyteczności publicznej, a także wnętrza środków komunikacji (tramwaje, samoloty). Na hałas zewnętrzny składa się tak wiele źródeł, że trudno podać je w jednolitej, spójnej klasyfikacji.

Podział hałasu zewnętrznego przedstawiono na rys. 1.3.



Rys. 1.3. Podział hałasu zewnętrznego

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku hałasów zewnętrznych mamy do czynienia z wszystkimi rodzajami hałasów przedstawionymi powyżej. Na hałas drogowy, który jest głównym tematem pracy, największy wpływ ma hałas niestacjonarny, a hałas maszyn do prac ziemnych to w znacznym procencie hałas przerywany i impulsowy.

- **Hałas instalacyjny**, zwany dotychczas hałasem przemysłowym, obejmuje dźwięki emitowane przez maszyny i urządzenia, procesy technologiczne,

⁵ Kazimierska-Grębosz M.: *The protection of environment and employees against the noise emitted during the groundwork*. Zeszyty naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 27 (99) 2011.

wyposażenie zakładów, obiektów handlowych (np. wentylatory), urządzenia nagłaśniające itp. Jest to hałas o wysokim poziomie, oddziałujący na szeroką grupę społeczeństwa.

- **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.
- **Hałas komunalny** to hałas powstający na terenach mieszkalnych, rekreacyjnych, terenach chronionych (np. szpitale) itp. Poziom tego rodzaju hałasu nie jest tak wysoki jak w pozostałych grupach, jednak o jego wyjątkowej uciążliwości decyduje obszar, na którym oddziałuje na szeroką grupę społeczeństwa.
- **Hałas militarny** to hałas występujący na terenach poligonów, strzelnic itp. Hałas ten, o wysokim poziomie, występuje okresowo, obejmuje on wąską grupę ludzi.

Do źródeł hałasu drogowego, zaliczanego do hałasu komunikacyjnego, z jakimi spotykamy się w literaturze, należą środki komunikacji samochodowej, motocyklowej, tramwaje i metro. Niewiele miejsca zajmują tam pracujące na ulicach ciężkie maszyny do prac ziemnych, maszyny budowlane pracujące w bezpośrednim sąsiedztwie ulic itp. Są to źródła dźwięku o wyjątkowo wysokim poziomie, oddziałujące na uczestników dróg i ulic, dlatego zostały włączone do tej grupy hałasu.

1.3. Klasyfikacja źródeł drgań mechanicznych i akustycznych

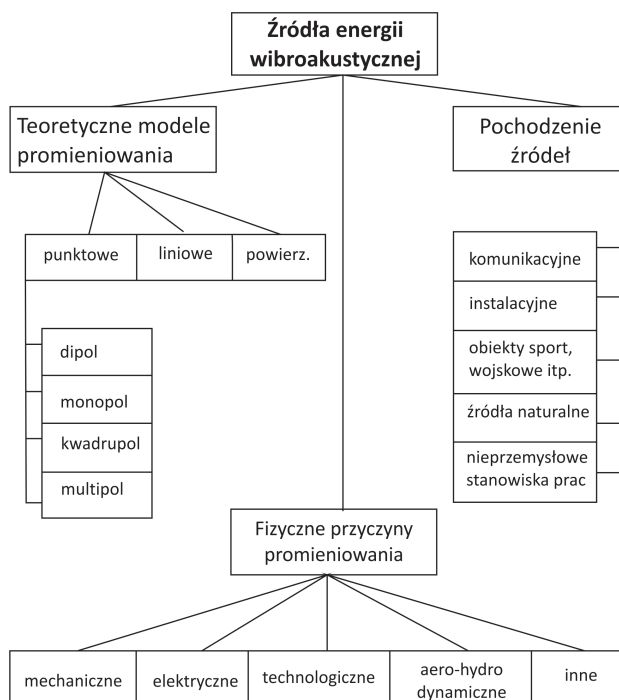
Poprzez źródło dźwięku rozumiemy układ mechaniczny lub akustyczny wytwarzający drgania akustyczne. Właściwości źródła dźwięku można ocenić ze względu na:

- cechy pola akustycznego wytwarzanego przez źródło; jest to zewnętrzna charakterystyka źródła, służy ona do oceny efektu akustycznego wytworzonego przez źródło,
- cechy samego źródła jako emitora energii wibroakustycznej; jest to wewnętrzna charakterystyka źródła, służy ona do oceny samego źródła.

Zarówno źródła drgań mechanicznych, jak i akustycznych występujące w rzeczywistych układach fizycznych mogą być sklasyfikowane z różnych punktów widzenia. Istnieje ogromna ilość źródeł drgań mechanicznych i akustycznych. Poszczególne maszyny, urządzenia itp. mają wiele źródeł energii wibroakustycznej. Źródła te zostały w określony sposób uporządkowane, biorąc pod uwagę:

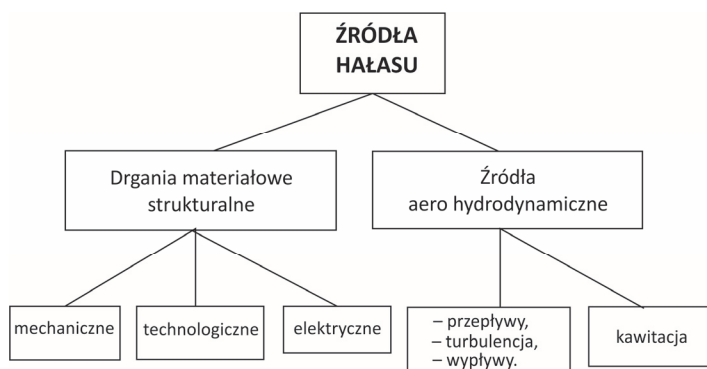
- modele teoretyczne promieniowania,
- fizyczne przyczyny generowania,
- pochodzenie źródła.

Szczegółowy podział źródeł energii wibroakustycznej przedstawiono na rys. 1.4.



Rys. 1.4. Szczegółowy podział źródeł energii wibroakustycznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Z. Engel, *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 1993.



Rys. 1.5. Podział źródeł hałasu ze względu na fizyczne przyczyny generowania

Źródło: opracowanie własne.

Podział ze względu na fizyczne przyczyny generowania energii

Pomiędzy układami mechanicznymi a układami akustycznymi istnieją ściśle analogie. Z tymi analogiami spotykamy się także podczas podziału, klasyfikacji, źródeł wibracji i hałasu⁶ (rys. 1.5).

⁶ Engel Z., *Wibroakustyka maszyn i środowiska*. Wiedza i życie. Warszawa 1995.

Podział ze względu na teoretyczne modele promieniowania

- Źródła punktowe:
 - monopól – źródło punktowe zerowego rzędu, w postaci pulsującej kuli o nieruchomym środku, pomijalnie małym promieniu w stosunku do długości promieniowanej fali akustycznej, promieniuje falę kulistą,
 - dipol – źródło pierwszego rzędu, składające się z dwóch jednakowych źródeł punktowych o równym natężeniu, drgających w fazach przeciwnych, znajdujących się od siebie w pomijalnie małej odległości w stosunku do długości promieniowanej fali akustycznej,
 - kwadrupol – źródło drugiego rzędu, składające się z dwóch (lub czterech) równych i drgających w przeciwfazie dipoli.
- Źródła liniowe – składają się z jednakowych źródeł punktowych, ułożonych wzdłuż dowolnej linii, w odległościach pomijalnie małych w stosunku do długości promieniowanej fali akustycznej.
- Źródła powierzchniowe – składają się z jednakowych źródeł punktowych, ułożonych wzdłuż dowolnej powierzchni, w odległościach pomijalnie małych w stosunku do długości fali akustycznej.

W akustyce technicznej spotykamy źródła quasi-punktowe, które mogą promieniować energię w różnych kierunkach.

Podział ze względu na pochodzenie energii wibroakustycznej

- Komunikacja i transport: samoloty, pojazdy drogowe, szynowe, wodne, rolnicze, rekreacyjne.
- Źródła instalacyjne (przemysłowe): elektryczne i nieelektryczne źródła mocy, maszyny, urządzenia mechaniczne, elektryczne i sygnalizacyjne, narzędzia, urządzenia i instalacje w budynkach, hale fabryczne, kominy, chłodnie, hamownie.
- Obiekty komunalne i wojskowe: dworce, lotniska, placówki handlowe, stadiony, poligony, strzelnice.
- Źródła naturalne: burze, wiatr, fale morskie, trzęsienia, wodospady.
- Nieprzemysłowe stanowiska pracy: maszyny do prac ziemnych, maszyny budowlane, młoty, kafary, sprężarki, urządzenia zewnętrzne zakładów przemysłowych i handlowych.

Przedmiotem rozważań w niniejszej pracy jest hałas emitowany przez małe maszyny do prac ziemnych oraz maszyny budowlane pracujące okresowo na ulicach miast. Źródła energii wibroakustycznej tych maszyn określono następująco⁷:

- Ze względu na teoretyczne modele promieniowania założono, że są to źródła punktowe. Pojedyncze źródło dźwięku można traktować jako punktowe w przypadku, gdy jego każdy wymiar liniowy l jest mniejszy od podwojonej odległości r między źródłem a punktem obserwacji, to znaczy gdy jest spełniony warunek $r \geq 2l$ (*). W przypadku występowania źródeł liniowych można je traktować jako punktowe, jeżeli spełniony jest warunek (*). W przeciwnym przypadku dzielimy

⁷ Engel Z., *Wibroakustyka maszyn i środowiska*. Wiedza i życie. Warszawa 1995.

źródło na równe odcinki o takiej długości, aby był spełniony warunek(*). Analogicznie postępujemy w przypadku źródła powierzchniowego, możemy traktować je jako źródła punktowe, jeżeli spełniony jest warunek (*). W przeciwnym przypadku dzielimy powierzchnię na równe części, aby był spełniony warunek (*).

- Ze względu na fizyczne przyczyny generowania energii określono te źródła jako źródła mechaniczne, elektryczne i technologiczne. Źródłem napędu większości maszyn budowlanych są tłokowe silniki spalinowe oraz silniki elektryczne, maszyny posiadają szereg mechanizmów (np. mechanizm obrotu nadwozia, mechanizmy osprzętu, mechanizmy jazdy), układy hydrauliczne, które emitują hałas zaliczany do mechanicznego i elektrycznego. W procesie roboczym maszyn emitowany jest hałas technologiczny.

- Ze względu na pochodzenie energii wibroakustycznej zaliczono badane źródła do instalacyjnych (przemysłowych) i komunikacyjnych. Źródłem hałasu są maszyny – koparki, ładowarki, dźwigi, równiarki, suwnice, młoty pneumatyczne itp., wykonujące prace stacjonarne, ale również poruszające się w ograniczonym obszarze. Można zatem zaliczyć te źródła hałasu do przemysłowych i komunikacyjnych.

Hałas powstający w czasie pracy ww. maszyn jest, zgodnie z przedstawionymi podziałami, hałasem zewnętrznym. Charakter pracy badanych maszyn powoduje, że emitują one hałas zaliczany do hałasu chwilowego – uderzeniowego i przerywanego.

1.4. Wielkości określające hałas środowiskowy (wskaźniki)

Podstawową wielkością potrzebną do wyznaczania różnych, bardziej złożonych, wskaźników opisujących hałas środowiskowy jest **poziom dźwięku A – L_{pA} (dB)**.

Jest to wartość poziomu ciśnienia akustycznego, skorygowanego według krzywej korekcji A, wyznaczany zgodnie z Polską Normą ze wzoru (1.1):

$$L_{pA} = 10 \log \frac{p_A^2}{p_0^2} \quad (1.1)$$

gdzie: p_A – wartość skuteczna ciśnienia akustycznego, skorygowanego według charakterystyki częstotliwościowej A [Pa],

p_0 – ciśnienie akustyczne odniesienia (20 μ Pa).

Wielkością bardziej złożoną jest **równoważny poziom dźwięku A – $L_{Aeq,T}$ (Db)**. Przez poziom równoważny rozumie się wartość poziomu ciśnienia akustycznego ciągłego ustalonego dźwięku, skorygowaną według charakterystyki częstotliwościowej A, która w określonym przedziale czasu odniesienia jest równa średniemu kwadratowi ciśnienia akustycznego analizowanego dźwięku o zmiennym poziomie w czasie, wyznaczany zgodnie z Polską Normą ze wzoru (1.2):

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2}{p_0^2} dt \right] \quad (1.2)$$

gdzie: $L_{Aeq,T}$ – równoważny poziom dźwięku A w decybelach, wyznaczony dla przedziału czasu odniesienia T (inaczej: od t_1 do t_2), [dB],

p_0 – ciśnienie akustyczne odniesienia (20 mPa),

p_A – chwilowa wartość ciśnienia akustycznego A, mierzonego sygnału akustycznego [Pa].

Dopuszczalne poziomy dźwięku wyrażone wskaźnikami L_N (dB)

i L_{DWN} (dB)⁸

L_N – długookresowy średni poziom dźwięku A wyznaczony dla wszystkich pór nocy,

L_{DWN} – długookresowy średni poziom dźwięku A wyznaczony dla wszystkich dób roku z uwzględnieniem pory dnia, pory wieczoru i pory nocy.

Przekroczenie dopuszczalnego poziomu dźwięku L_{AN} określa zależność:

$$L_{AN} = L_{Aeq(en)} - L_{Adop} \quad (1.3)$$

gdzie: $L_{Aeq(en)}$ – równoważny poziom dźwięku A, średni na danym obszarze [dB],

L_{Adop} – dopuszczalny poziom hałasu [dB].

Wskaźnik Imisji M – wiąże uciążliwość hałasu z liczbą osób ekspozowanych czy też narażonych na ten hałas, z uwzględnieniem także zakresu przekroczeń. Definicja wskaźnika M oparta jest o wzór:

$$M = \left(\sum_{i=1}^n m_i K_i \right) \quad (1.4)$$

gdzie: m_i – liczba osób zamieszkująca teren uciążliwy pod względem akustycznym, natomiast:

$$\begin{cases} K_i = 10^{0,1(L_{Ai} - L_{dop})} - 1 & \text{dla } L_{Ai} > L_{dop} \\ K_i = 0 & \text{dla } L_{Ai} \leq L_{dop} \end{cases} \quad (1.5)$$

przy czym: L_{dop} – dopuszczalny poziom hałasu [dB],

L_{Ai} – aktualna wartość poziomu dźwięku [dB].

Emisja hałasu – według ustawy Prawo ochrony środowiska emisje są to m.in. hałas, energie, czyli ciepło, pola elektromagnetyczne wprowadzone w wyniku działalności człowieka (bezpośrednio lub pośrednio) do powietrza, gleby lub ziemi⁹.

Przyjęto określać emisje hałasu:

- przemysłowego na terenie chronionym. Poziom emisji hałasu otrzymuje się poprzez odjęcie od wartości równoważonego poziomu dźwięku dla pory dziennej lub pory nocnej wartości poziomu tła akustycznego.
- komunikacyjnego (hałas drogowy i szynowy) w punkcie referencyjnym zlokalizowanym w otoczeniu drogi (ulicy) lub linii kolejowej i tramwajowej.

⁸ <http://www.gois.gov.pl>, (19.08.2016).

⁹ tamże.

1.5. Aktualne przepisy prawne dotyczące hałasu w środowisku

Podstawowym aktem prawnym w zakresie ochrony środowiska jest ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 roku – Prawo ochrony środowiska (Dz.U. Nr 62) z uzupełnieniami z ustawy wprowadzającej, tj. Ustawy z dnia 27 lipca 2001 roku – Prawo ochrony środowiska, ustawy o odpadach oraz zmianie niektórych ustaw (Dz.U. Nr 100).

Główna część regulująca zakres ochrony środowiska przed hałasem zawarta jest w Dziale V ustawy POŚ, w artykułach od 112 do 120a. Prawo ochrony środowiska było wielokrotnie uzupełniane. Jednolity tekst ustawy – Prawo ochrony środowiska – został ogłoszony obwieszczeniem Marszałka Sejmu RP z dnia 23 stycznia 2008 roku, aktualny ujednolicony tekst ustawy ogłoszono 16.05.2016 roku.

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 kwietnia 2008 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących rejestru zawierającego informacje o stanie akustycznym środowiska określa rodzaje wyników pomiarów, badań i analiz hałasu podlegających rejestracji oraz formę tej rejestracji. W rozporządzeniu tym nieporuszona jest kwestia rejestracji hałasu występującego okresowo w miastach w czasie prac ziemnym na ulicach, wykonywanych przez małe maszyny do prac ziemnych.

Informacje dotyczące ochrony środowiska przed hałasem winny być udostępniane społeczeństwu, co określa ustawa z dnia 3 października 2008 roku o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie, udziale społeczeństwa w ochronie środowiska oraz o ocenach oddziaływania na środowisko.

Ustawodawstwo polskie przewiduje również ochronę pracowników przed zagrożeniami zawodowymi w miejscu pracy, gdzie panuje hałas o wysokim poziomie.

8 stycznia 2004 roku uchwalona została ustawa o ratyfikacji Konwencji nr 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy dotyczącej ochrony pracowników przed zagrożeniami zawodowymi w miejscu pracy, spowodowanymi zanieczyszczeniami powietrza, hałasem i wibracjami, przyjętej w Genewie dnia 20 czerwca 1977 roku.

Od 2001 roku w Polsce prowadzone są intensywne prace nad dostosowaniem regulacji Unii Europejskiej dotyczącej ochrony przed hałasem do polskiego prawodawstwa.

Kryteria oceny hałasu, podstawy metodyczne i szczegółowe procedury zawarte są w aktach prawnych niższej rangi, tj. w rozporządzeniach Ministra Środowiska. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku określa m.in. zróżnicowane dopuszczalne poziomy hałasu określone wskaźnikami hałasu dla pory dziennej L_{AeqD} oraz pory nocnej L_{AeqN} w dB, długookresowy średni poziom dźwięku L_{DWN} i L_N dla różnych rodzajów terenu.

Przykład podanych dopuszczalnych wartości hałasu środowiskowego w rozporządzeniu Ministra Środowiska podano w tabelach 2.1 i 2.2 (Dz.U. 22.01.2014).

Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 listopada 2010 roku, zmieniające rozporządzenie w sprawie ustalania wartości wskaźnika hałasu L_{DWN} określa sposób obliczania tego wskaźnika według podanego wzoru.

Szczególną uwagę Parlament Europejski zwrócił na problem hałasu emitowanego przez maszyny pracujące na zewnątrz.

Parlament Europejski i Rada UE, 8 maja 2000 roku w Brukseli przyjęły nowe rozporządzenie: Dyrektywę nr 2000/14/WE dotyczącą hałasu emitowanego przez maszyny używane na zewnątrz budynków (Directive on Noise from Equipment Used Outdoors – 2000/14/CE). Do 3 lipca 2001 roku, rządy krajów członkowskich miały obowiązek dostosować i opublikować rozporządzenia prawne, ustawodawcze i administracyjne konieczne do wprowadzenia dyrektywy unijnej. Wchodzi ona w życie 3 stycznia 2002. Oczywisty jest fakt, iż kolejne kraje wchodzące w struktury Unii Europejskiej będą zobowiązane do podobnych kroków, tak jak zrobił to rząd polski Ustawą z dnia 30 sierpnia 2002 roku.

Tabela 1.1. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN} , które mają zastosowanie do ustalenia i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny poziom hałasu [dB]			
		drogi lub linie kolejowe		pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		L_{AeqD} przedział czasu odniesienia równy 16 h	L_{AeqN} przedział czasu odniesienia równy 8 h	L_{AeqD} przedział czasu odniesienia równy 8 najmnij korzystnym godzinom dnia kolejno po sobie następującym	L_{AeqN} przedział czasu odniesienia równy 1 najmnij korzystnej godzinie nocy
1	a) Strefa ochronna „A” uzdrowiska b) Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	55	50	50	40

3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d) Tereny mieszkaniowo-usługowe	60	50	55	45
4	a) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców	65	55	55	45

Źródło: załącznik do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 14.06.2007 (poz. 826).

Tabela 1.2. Dopuszczalne poziomy hałas w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N , które mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem

Lp.	Rodzaj terenu	Dopuszczalny długookresowy średni poziom dźwięku A [dB]			
		drogi lub linie kolejowe		pozostałe obiekty i działalność będąca źródłem hałasu	
		L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	L_N przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy	L_{DWN} przedział czasu odniesienia równy wszystkim dobom w roku	L_N przedział czasu odniesienia równy wszystkim porom nocy
1	2	3	4	5	6
1	a) Strefa ochronna „A” uzdrowiska b) Tereny szpitali poza miastem	50	45	45	40
2	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej jednorodzinnej b) Tereny zabudowy związanej ze stałym lub wielogodzinnym pobytem dzieci i młodzieży c) Tereny domów opieki społecznej d) Tereny szpitali w miastach	55	50	50	40

Tabela 1.2 (cd.)

3	a) Tereny zabudowy mieszkaniowej wielorodzinnej i zamieszkania zbiorowego b) Tereny zabudowy zagrodowej c) Tereny rekreacyjno-wypoczynkowe d) Tereny mieszkaniowo - usługowe	60	50	55	45
4	a) Tereny w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców	65	55	55	45

Źródło: załącznik do Rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 14.06.2007 (poz. 826).

Rozporządzenie przewiduje utworzenie komisji reprezentującej Parlament Europejski i Radę UE, która począwszy od 2005 roku, przez kolejne lata, będzie przedstawiać raporty dotyczące zastosowania i zarządzania obecną dyrektywą.

Dyrektywa ta została zmieniona 14 grudnia 2005 roku przez Dyrektywę 2005/88/WE Parlamentu Europejskiego w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw członkowskich odnoszących się do emisji hałasu do środowiska przez urządzenia na zewnątrz pomieszczeń. Powołana wcześniej komisja stwierdziła, że stosowanie progów poziomu hałasu z etapu drugiego, które miały obowiązywać od 3 stycznia 2006 roku jest technicznie niewykonalne. Termin wprowadzenia tych progów został przyjęty na dzień 3 stycznia 2007 roku.

Rozporządzenie z dnia 21 grudnia 2005 roku Ministra Gospodarki w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska, określa:

- zasadnicze wymagania dla urządzeń przeznaczonych do używania na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska,
- procedury oceny zgodności,
- metody pomiaru hałasu emitowanego przez te urządzenia,
- wzór znaku CE,
- oznaczenia gwarantowanego poziomu mocy akustycznej,
- rodzaje urządzeń przeznaczonych do używania na zewnątrz pomieszczeń podlegających ograniczeniu emisji hałasu,
- rodzaje urządzeń przeznaczonych do używania na zewnątrz pomieszczeń podlegających tylko oznaczeniu gwarantowanego poziomu mocy akustycznej, dla których proces oceny zgodności jest objęty deklarowaniem zgodności przez producenta urządzenia lub jego przedstawiciela.

Rozporządzenie to zostało zmienione 15 lutego 2006 roku Ministra Gospodarki na skutek ogłoszenia dyrektywy 2005/88/WE Parlamentu Europejskiego

i Rady. Przedstawiono nowy załącznik określający wartości dopuszczalne gwarantowanego poziomu mocy akustycznej wybranych urządzeń (tabela 1.3).

Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 maja 2007 roku wymaga, aby producent urządzenia używanego na zewnątrz pomieszczeń lub jego upoważniony przedstawiciel, który wystawił deklarację zgodności WE, przekazał jej kopię Komisji Europejskiej i ministrowi właściwemu do spraw gospodarki.

Tabela 1.3. Wartości dopuszczalne gwarantowanego poziomu mocy akustycznej urządzeń, o których mowa w załączniku nr 1 do Rozporządzenia

Typ urządzenia	Zainstalowana moc netto P [kW] Moc elektryczna $P_{el}^{(1)}$ [kW] Masa urządz. m [kg] Szerokość cięcia L [cm]	Dopuszczalny poziom mocy akustycznej [dB/1pW]	
		etap I od 1 maja 2004 r.	etap II od 3 stycznia 2006 r.
Maszyny do zagęszczania (walce wibracyjne, płyty wibracyjne, ubijaki wibracyjne)	$P \leq 8$	108	$105^{(2)}$
	$8 < P \leq 70$	109	$106^{(2)}$
	$P > 70$	$89 + 11 \lg P$	$86 + 11 \lg P^{(2)}$
Spycharki gąsienicowe, ładowarki gąsienicowe, koparko-ładowarki gąsienicowe	$P \leq 55$	106	$103^{(2)}$
	$P > 55$	$87 + 11 \lg P$	$84 + 11 \lg P^{(2)}$
Spycharki kołowe, ładowarki kołowe, koparko-ładowarki kołowe, wywrotki, równiarki, ugniataarki wysypiskowe typu ładowarkowego, wózki podnośnikowe napędzane silnikiem spalinowym z przeciwwagą, żurawie samojezdne, maszyny do zagęszczania (walce niewibracyjne), układarka do nawierzchni, zmechanizowane hydrauliczne przetwornice ciśnienia	$P \leq 55$	104	$101^{(2)(3)}$
	$P > 55$	$85 + 11 \lg P$	$82 + 11 \lg P^{(2)(3)}$
Koparki, dźwigi budowlane do transportu towarów (napędzane silnikiem spalinowym), wciągarki budowlane, redlice motorowe	$P \leq 15$	96	93
	$P > 15$	$83 + 11 \lg P$	$80 + 11 \lg P$
Ręczne kruszarki do betonu i młoty	$m \leq 15$	107	105
	$15 < m < 30$	$94 + 11 \lg m$	$92 + 11 \lg m^{(2)}$
	$m \geq 30$	$96 + 11 \lg m$	$94 + 11 \lg m$
Żurawie wieżowe		$98 + \lg P$	$96 + \lg P$
Agregaty prądotwórcze i spawalnicze	$P_{el} \leq 2$	$97 + \lg P_{el}$	$95 + \lg P_{el}$
	$2 < P_{el} \leq 10$	$98 + \lg P_{el}$	$96 + \lg P_{el}$
	$P_{el} > 10$	$97 + \lg P_{el}$	$95 + \lg P_{el}$
Agregaty sprężarkowe	$P \leq 15$	99	97
	$P > 15$	$97 + 2 \lg P$	$95 + 2 \lg P$
Kosiarki do trawników, przycinarki do trawników, przycinarki krawędziowe do trawników	$L \leq 50$	96	$94^{(2)}$
	$50 < L \leq 70$	100	98
	$70 < L \leq 120$	100	$98^{(2)}$
	$L > 120$	105	$103^{(2)}$

Źródło: Dziennik Urzędowy UE. L.344/45 (Dyrektywa 2005/88/WE).

⁽¹⁾ P_{el} – dla agregatów spawalniczych: umowny prąd spawania pomnożony przez umowne napięcie w stanie obciążenia dla najmniejszej wartości współczynnika obciążenia, podanego przez producenta.

P_{el} – dla agregatów prądotwórczych: moc podstawowa, zgodnie z ISO 8528-1:1993.

⁽²⁾ Wartości poziomu mocy akustycznej dla etapu II są jedynie orientacyjne dla następujących typów urządzeń:

- walce wibracyjne prowadzone,
- płyty wibracyjne (> 3 kW),
- ubijaki wibracyjne,
- spycharki (gąsienicowe),
- ładowarki (gąsienicowe > 55 kW),
- wózki podnośnikowe, napędzane silnikiem spalinowym, z przeciwwagą,
- układarki do nawierzchni wyposażone w listwę do zagęszczania (z wyjątkiem układarki wyposażonej w listwę do intensywnego zagęszczania),
- ręczne kruszarki do betonu napędzane silnikiem spalinowym i młoty mechaniczne ($15 < m < 30$),
- kosiarki do trawników, przycinarki do trawników, przycinarki krawędziowe do trawników.

Ostateczne wartości będą zależały od zmiany dyrektywy 2000/14/WE wynikającej ze sprawozdania przewidzianego w art. 20 ust. 1 tej dyrektywy. W przypadku braku takiej zmiany, wartości dla etapu I będą stosowane dla etapu II.

⁽³⁾ W przypadku jednosilnikowych żurawi samojezdnych wartości z etapu I mają zastosowanie do dnia 3 stycznia 2008 r. Po tej dacie stosuje się wartości z etapu II.

Dopuszczalny poziom mocy akustycznej zaokrągla się do najbliższej liczby całkowitej (część ułamkowa mniejsza niż 0,5 – do mniejszej liczby, równa 0,5 lub większa – do większej liczby).

1.6. Metody i środki ochrony przed hałasem

Wysoki poziom hałasu – głównie hałasu komunikacyjnego – w którym żyjemy wymaga stosowania koniecznych ochron przed negatywnymi skutkami hałasu. Niezbędne jest znaczne obniżenie poziomu hałasu w miejscach, w których wykonujemy naszą pracę oraz tam gdzie mieszkamy czy wypoczywamy. Może ono nastąpić jedynie dzięki kompleksowemu podejściu do problemu zanieczyszczenia środowiska miejskiego hałasem i zastosowaniu konkretnych metod walki z tym ubocznym skutkiem rozwoju cywilizacji.

Metody i sposoby zwalczania hałasu można podzielić na:

- **techniczne** (rozdzielamy tu ochronę **czynną** oraz ochronę **bierną**),
- **administracyjno-prawne**.

Metoda czynna zakłada zmniejszanie emisji hałasu emitowanego przez źródło poprzez ingerencję w konstrukcję oraz mechanizm działania samego źródła.

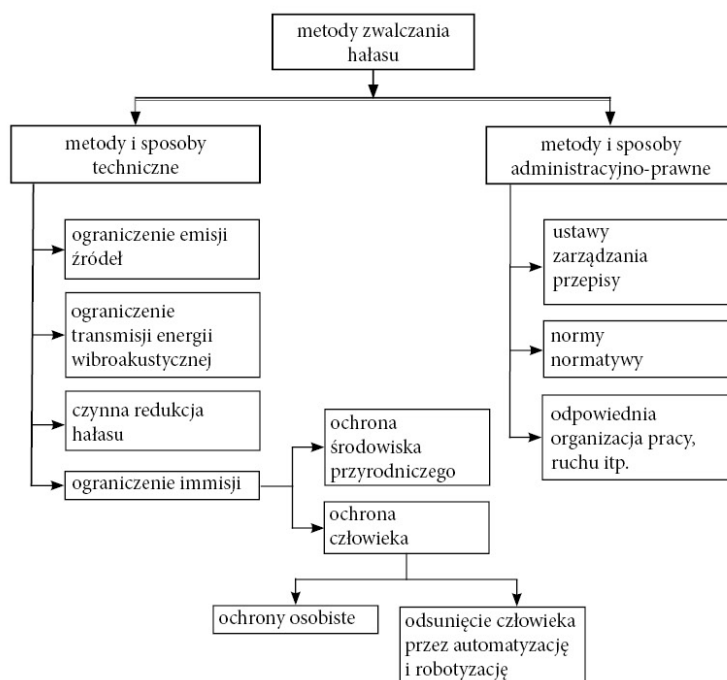
Metoda bierna natomiast polega na jak najlepszym zabezpieczeniu odbiorcy hałasu przed jego uciążliwościami za pomocą umiejscowienia na drodze rozprzestrzeniania się hałasu rozmaitych ograniczeń w postaci barier i przeszkód oraz wznoszeniu zabudowy mieszkalnej przy wykorzystaniu już istniejących przeszkód naturalnych, rzeźby terenu lub obszarów zieleni.

Metody administracyjno-prawne to przede wszystkim akty prawne uchwalane i wydawane przez:

- organy administracji państwowej,
- władze lokalne,
- inne organy wydające zarządzenia, rozporządzenia i ustanawiające procedury, np. w zakładach pracy.

Urzędowe zakazy, nakazy i rozporządzenia mają na celu ograniczenie emisji hałasu do środowiska, ustanawianie stref ochronnych itp. Prawidłowa, przemyślana i odpowiednio wcześniej zastosowana sprawna organizacja ruchu drogowego znacznie ułatwia ochronę przed hałasem i obniża jej koszty.

- Metody te mają na celu:
- zapewnienie odpowiednich warunków umożliwiających mieszkańcom wypoczynek,
- zapewnienie właściwego poziomu akustycznego w miejscu pracy i pobytu,
- zmniejszenie hałasów emitowanych przez środki komunikacji oraz przemysł na tereny rekreacyjne oraz te strefy, w których poziom hałasu powinien być minimalny.



Rys. 1.6. Podział metod zwalczania hałasu

Źródło: strona internetowa Państwowego Instytutu Badawczego CIOP <http://www.anc.pl>

1.6.1. Techniczne metody zwalczania hałasu

Z uwagi na temat realizowanego projektu, przedstawione zostaną metody walki z hałasem, ze szczególnym uwzględnieniem hałasu środowiskowego.

Hałas zakładów przemysłowych

Hałas wytwarzany przez maszyny i urządzenia pracujące w zakładach przemysłowych oddziałuje w głównym stopniu na pracowników, ale również emitowany jest do środowiska.

Do wyciszania źródeł hałasu w zakładach przemysłowych stosuje się następujące środki¹⁰:

- zmianę bardziej hałaśliwego procesu technologicznego na mniej hałaśliwy,
- zastąpienie hałaśliwej maszyny lub urządzenia maszyną pracującą ciszej (np. maszyny o napędzie spalinowym maszyną o napędzie elektrycznym),
- wytłumienie głównych źródeł hałasu maszyny,
- zastosowanie elementów amortyzujących i antywibracyjnych,
- obudowanie maszyny lub jej części,
- wytłumienie pomieszczenia, w którym pracuje hałaśliwa maszyna lub urządzenie,
- stałą konserwację parku maszynowego w celu zmniejszenia tarć.

Wszystkie te metody nie tylko zmniejszają negatywne skutki działania hałasu na pracowników znajdujących się w bezpośrednim otoczeniu maszyn, ale również znacznie zmniejszają emisję hałasu poza teren zakładu.

Hałas lotniczy

Hałasu pochodzącego od środków transportu lotniczego zwykle nie sposób ograniczyć u źródła w sposób wyraźny i zadowalający. Należy zapobiegać przedostawaniu się hałasu w okolice osiedli mieszkalnych i „leczyć” skutki jego powstawania, a nie przyczyny.

Ograniczać ten rodzaj hałasu można poprzez¹¹:

- budowę lotnisk pasażerskich w znacznej odległości od miast,
- sytuowanie dróg startowych tak, aby loty nie odbywały się nad miastem,
- skierowanie pasa startowego w ten sposób, aby był położony równolegle do terenów miejskich, otoczony wysokimi ekranami akustycznymi i oddzielony od miasta szerokim lasem.

Hałas samochodowy

Przemysł samochodowy, podobnie jak przemysł lotniczy, szybko rozwija się i produkuje coraz to nowsze maszyny wprowadzając rozwiązania techniczne powodujące znaczne obniżenie zużycia paliwa i oporu powietrza czy też stosując inne, bardziej wydajne niż konwencjonalne, źródła energii. To wszystko pośrednio przyczynia się również do obniżenia poziomu hałasu emitowanego przez te rodzaje pojazdów. Znaczącą rolę w obniżaniu poziomu hałasu odgrywają tłumiki samochodowe i motocyklowe, a także specjalne wzory opon powodujące, iż kontakt bieżnika z podłożem jest dużo mniej uciążliwy niż jeszcze kilkanaście czy kilkadziesiąt lat temu.

Znaczne zmniejszenie poziomu hałasu można również uzyskać stosując odpowiednie materiały na podłoże oraz zapewniając jego konserwację¹².

¹⁰ Puzyra Cz., *Ochrona środowiska pracy przed hałasem*, tom I. WNT, Warszawa 1982.

¹¹ tamże.

Zmniejszenie hałasu komunikacyjnego uzyskać można budując obwodnice, stosując właściwą organizację ruchu, budując podziemne przejścia i estakady, bowiem częste zatrzymywanie się i ponowne ruszanie pojazdów zwiększa średni poziom hałasu o około 10-15 dB. Z drugiej strony należy pamiętać, że sytuowanie jezdni na estakadzie, pomimo bezkolizyjnego przebiegu estakady nad dużymi skrzyżowaniami, jest szczególnie niekorzystne z punktu widzenia ochrony przed hałasem, ponieważ poziom hałasu komunikacyjnego na wysokości od kilku do kilkunastu metrów nad ziemią jest znacznie większy niż bezpośrednio nad ziemią i dzięki tak wysokiemu usytuowaniu rozchodzi się na znacznie większe odległości.

Hałas pojazdów szynowych

Zdecydowanie bardziej dostępne, a przez to bardziej różnorodne, wydają się być metody walki z hałasem powstającym podczas przemieszczania się szynowego środka lokomocji, a więc tramwaju miejskiego czy pociągu. Ponieważ zdecydowana większość hałasu wytwarzanego przez te pojazdy powstaje podczas kontaktu kół pojazdu z szynami, należy przede wszystkim zastosować takie rozwiązania technologiczne, które pozwolą na zmniejszenie emisji tego konkretnego źródła hałasu. Powtarzające się okresowo drobne nierówności szyn powodują różnego rodzaju niepożądane efekty dźwiękowe, począwszy od miarowego stukotu kół o spawy, poprzez „śpiewanie”, aż po – najbardziej uciążliwe dla otoczenia – tzw. „wycie” szyn przy odległościach pomiędzy nierównościami wynoszących około 5 centymetrów.

Można zmniejszyć te uciążliwości poprzez:

- jak najdokładniejsze wyszlifowanie szyn,
- spawanie szyn w bardzo długie odcinki,
- układanie szyn na dzielonych, niezależnych od siebie podkładach,
- wykonanie szyn z lżejszych materiałów, co zmniejsza poziom emitowanego hałasu o kolejnych kilka decybeli.

Kolejną, dosyć skuteczną, metodą na obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez pojazdy szynowe może być też zastosowanie pomiędzy każdą szyną a znajdującym się pod nią podkładem specjalnej podkładki gumowej (co zmniejsza poziom hałasu o około 3-5 dB) oraz usypywanie pod torami grubej warstwy żwiru i szutru w miejsce stosowanych do tej pory powszechnie bardzo twardych i zbitych podłoży kamienistych¹³.

Rozwiązaniem przynoszącym najlepsze efekty jest zastosowanie gumowych kół, tak jak zrobiono to np. w metrze w Paryżu.

W najbliższych latach w Europie planuje się ograniczenie emisji hałasu kolejowego u źródła o 20 dB(A) dla pociągów towarowych i o 5 dB(A) w przypadku pociągów pospiesznych, głównie skupiając się na szumie aerodyna-

¹² Bugliarello G., Alexandre A., Barnes J., Wakstein Ch., *The impact of noise pollution*. Pergamon Press New York 1999.

¹³ Engel Z., Sikora J., *Obudowy dźwiękochłonna-izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowanie*. Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.

micznym oraz hałasie powstającym podczas toczenia się kół, zmiany kierunku jazdy i hamowania¹⁴.

Bierne metody ochrony środowiska przed hałasem

Duże możliwości ochrony przed hałasem środowiskowym dają nam tzw. „metody bierne” polegające na odizolowaniu środowiska od konkretnego hałasu. Można to osiągnąć poprzez wyciszanie wnętrz pomieszczeń, prawidłową lokalizację budynków względem uciążliwych traktów komunikacyjnych oraz wykorzystywanie już istniejącego dobrego położenia osiedli względem elementów naturalnego ukształtowania terenu i kierunku wiatru czy poprzez budowanie sztucznych przeszkód na drodze propagacji fali dźwiękowej, takich jak tunele, specjalne osłony urbanistyczne, ekrany akustyczne albo budynki niewrażliwe na hałas, czyli budynki niezamieszkałe stale¹⁵.

Metody te nie są z pewnością doskonałe, ale stosowane są ze względu na swą stosunkowo dużą oszczędność. Nie sposób przecież wymienić w mieście cały tabor tramwajowy, kolejowy czy samochodowy na nowy, emitujący mniejsze ilości hałasu. Ogólnie elementy urbanistyczne wpływające na redukcję poziomu hałasu możemy podzielić na¹⁶:

- elementy dźwiękochłonno-rozpraszające (zielen, elementy budowlane o małych wymiarach),
- elementy ekranizujące (odbijające i dźwiękochłonno-izolacyjne) sztuczne – ekrany, budynki, wykopy, nasypy, estakady oraz naturalne – takie jak jary, wąwozy, wzgórza, specyficzne ukształtowanie terenu,
- elementy dźwiękochłonno-odbijająco-ekranujące (np. nasypy pokryte zielenią).

Ukształtowanie terenu i przeszkody naturalne

Przy planowaniu i zabudowie terenu pod budynki mieszkalne zawsze należy brać pod uwagę istniejące ukształtowanie terenu, jego rzeźbę oraz roślinność. Naturalne stoki, wąwozy, pagórki czy las mogą bowiem posłużyć jako doskonały ekran akustyczny utrudniający (lub nawet uniemożliwiający) nadchodzącej fali dźwiękowej przedostanie się na teren zamieszkały. Najlepszą sytuacją byłoby usytuowanie tras komunikacji drogowej i kolejowej w zagłębieniach, natomiast budynków na wzniesieniach, z tym zastrzeżeniem, że byłyby one cofnięte w stosunku do krawędzi zbocza, a więc oddalone od bezpośredniego zasięgu hałasu komunikacyjnego lub usytuowane po drugiej stronie wzniesienia, za którym znajduje się uciążliwa trasa komunikacyjna¹⁷.

Tłumienie hałasu przez zielen

Powierzchnie miękkie, jak ziemia, trawa, krzewy, drzewa czy piach, powodują rozproszenie i pochłonięcie hałasu, czyli jego wytłumienie. Wartość tłumienia dźwięku przez zielen waha się od 0,1 do 0,5 dB/m i wraz ze wzrostem odległości od źródła dźwięku maleje.

¹⁴ Magazine Brüel&kjaer. Nr 2/2003.

¹⁵ tamże.

¹⁶ Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.

¹⁷ tamże.

Udowodniono, że kilka węższych pasów zieleni oddalonych od siebie o kilka metrów daje o wiele lepsze efekty tłumienia hałasu niż jeden szerszy pas. Aby zastosowanie zieleni doprowadziło do osiągnięcia zamierzonego celu, jej łączna szerokość musi wynosić co najmniej kilkanaście metrów.

Sztuczne przeszkody ograniczające rozchodzenie się dźwięku

Przeszkody sztuczne to przeszkody postawione ręką ludzką. Do grupy tej należą nasypy i wały usypane przez człowieka z materiałów naturalnych oraz budynki i konstrukcje spełniające rolę osłon. Główną grupę przeszkód ograniczających hałas stanowią ekrany akustyczne, omówione szczegółowo w rozdziale 3. Ekrany stosuje się zarówno w pomieszczeniach zamkniętych, jak i na otwartej przestrzeni. Służą one bowiem do ochrony przed hałasem stanowisk pracy, ale też i środowiska zewnętrznego. Najlepsze efekty daje oczywiście odizolowanie źródła hałasu, tj. zastosowanie obudów. Skuteczność takiego rozwiązania to w przypadku obudowy całkowitej około 10-25 decybeli, zaś w przypadku obudowy częściowej lub posiadającej otwory wentylacyjne, czy inne otwory konieczne ze względów technologicznych, jest to tylko około 5-10 decybeli.

Prawidłowa lokalizacja osiedli i budynków mieszkalnych

Każde osiedle (w szczególności te rejony, w których znajdują się budynki wymagające ściślejszej ochrony przed hałasem, jak np. sanatoria, hotele, szpitale) powinno być projektowane od razu z uwzględnieniem wymagań i zastanych warunków akustycznych. Wymaganiom tym powinien sprostać zarówno układ komunikacyjny, jak i wzajemne rozmieszczenie względem siebie obiektów chronionych przed hałasem i tych, które są lub będą źródłami hałasu. Jeżeli powierzchnia terenu przeznaczonego na zasiedlenie nie jest dostatecznie duża dla prawidłowego rozmieszczenia budynków względem drogi lub zakładu i nie pozwala też na zainstalowanie odpowiedniej ilości ekranów, zwiększenie ochrony pomieszczeń przed hałasem można uzyskać przez¹⁸:

- odpowiednie ukształtowanie bryły budynku zapewniające skuteczne ekranowanie pomieszczeń,
- taki układ pomieszczeń, aby pomieszczenia niewrażliwe na hałas (klatka schodowa, łazienka, kuchnia) stanowiły strefę izolacyjną dla pomieszczeń chronionych (sypialnia, salon),
- zastosowanie ekranów zamocowanych na zewnętrznej ścianie budynku,
- zastosowanie dodatkowej ściany zewnętrznej lub oszklonych balkonów,
- zastosowanie okien o podwyższonej izolacyjności akustycznej.

Zarówno ściana budynku, jak i każda inna przegroda powinna praktycznie uniemożliwić transmisję dźwięku z jednego miejsca w drugie. Użycie w pomieszczeniach materiałów dźwiękochłonnych znacznie zmniejsza poziom natężenia hałasu w pomieszczeniu, powodując wzrost ich chłonności akustycznej.

¹⁸ Sadowski J., *Kształtowanie klimatu akustycznego środowiska i jego ochrona przed hałasem i drganiami*. Prace ITB nr 2-3 1999.

Aktywne metody obniżania hałasu

Cechą charakterystyczną aktywnej metody zwalczania hałasu jest to, że hałas kompensuje się dźwiękami z innych, dodatkowych, źródeł. Metod tych używa się do redukcji poziomu hałasu^{19, 20}.

- za pomocą specjalnych ochronników słuchu z elementami aktywnymi,
- w polu akustycznym, w którym występują odbite fale akustyczne za pomocą zestawu mikrofonów umieszczonych w pobliżu powierzchni odbijającej,
- w polu akustycznym wokół maszyn i urządzeń przez umieszczenie w pobliżu maszyny detektora oraz jednego wtórnego bądź kilku dodatkowych źródeł dźwięku,
- w falowodach.

Metody aktywnej redukcji hałasu stosuje się też w samochodach. Wewnątrz pojazdu wytwarzana jest strefa ciszy w jak największym obszarze wokół głowy kierowcy i pasażerów, dzięki odpowiednio usytuowanym w kabinie źródłom wtórnym²¹.

1.6.2. Administracyjne metody zwalczania hałasu

Akty prawne (ustawy, rozporządzenia, normy) dotyczące hałasu zostały przedstawione w p. 1.5. Do administracyjnych metod zwalczania hałasu należą kary nakładane na jednostki nieprzestrzegające tych rozporządzeń.

Przestrzeganie nawet bardzo rygorystycznych przepisów (pomimo początkowego wyraźnego zwiększenia kosztów pracy czy zwiększenia wydatków z budżetu samorządu) powoduje w efekcie spadek liczby zgonów i zachorowań na dolegliwości związane ze szkodliwym działaniem hałasu, spadek liczby wypadków przy pracy, wzrost wydajności pracy, wzrost sprawności psychicznej i chęci do życia. Zapobiega więc powstawaniu daleko rozwiniętych negatywnych skutków działania hałasu uderzających w różne aspekty życia społecznego.

¹⁹ Engel Z., Makarewicz R., Morzyński L., Zawieska W.M., *Metody aktywne redukcji hałasu*. CIOP, Warszawa 2001.

²⁰ Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.

²¹ Engel Z., Makarewicz R., Morzyński L., Zawieska W.M., *Metody ...*, dz. cyt.

2. Ekrany akustyczne

2.1. Pojęcie ekranu akustycznego

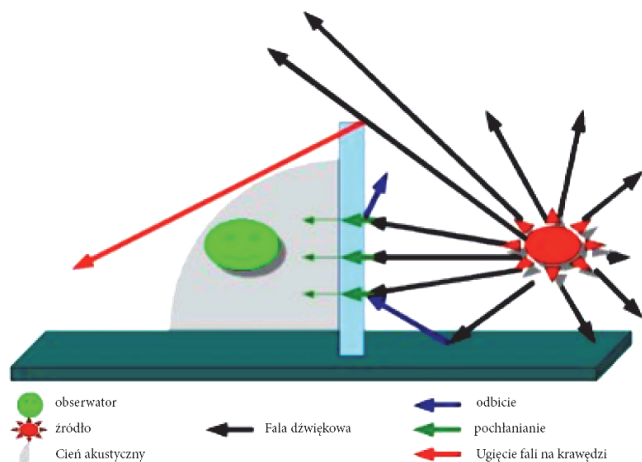
Ekran akustyczny definiuje się, jako naturalną lub sztuczną przegrodę na drodze fali dźwiękowej pomiędzy źródłem a odbiorcą. Istotne jest, aby ekran przesłaniał trasy geometryczne fali dźwiękowej ze wszystkich punktów źródła hałasu do obszaru chronionego. Skutkiem zastosowania ekranu pomiędzy źródłem hałasu a odbiorcą jest powstanie „cienia akustycznego”, do którego dochodzą tylko fale dźwiękowe ugięte na krawędzi ekranu.

Propagacja fal akustycznych w obszarze, w którym umieszczony jest ekran akustyczny jest problemem wyjątkowo złożonym. Fale dźwiękowe w środowisku z ekranem podlegają pochłanianiu, odbiciu, interferencji (nakładaniu się) i ugięciu.

Odbicie i pochłanianie. Odbicie fali dźwiękowej płaskiej od powierzchni zachodzi zgodnie z zasadą, że kąt padania jest równy kątowi odbicia; w przypadku gdy fala dźwiękowa pada na przegrodę o skończonej grubości, to prócz odbicia i pochłaniania część fali może przenikać przez przegrodę.

Zjawisko interferencji. Zjawisko polega na nakładaniu się pewnej liczby fal akustycznych, dając w ten sposób wzmocnienie lub osłabienie natężenia fali wypadkowej. W teorii ekranów zjawisko to będzie miało znaczenie przy zastosowaniu układu dwóch równoległych ekranów odbijających wzdłuż trasy komunikacyjnej lub zastosowaniu ekranu w niewielkiej odległości od chronionego obiektu.

Ugięcie fali. Zakładając, że fale rozchodzą się jedynie po linii prostej, w momencie gdy napotkają przeszkodę, powinny idealnie przejść ponad nią, lecz tak nie jest. Stwierdzono, iż fale padające na krawędź ekranu uginają się na jego brzegu i przenikają w obszar za nim, który powinien być bezpiecznym terenem tzw. cienia akustycznego (rys. 2.1).



Rys. 2.1. Ekran akustyczny na drodze fal dźwiękowych

Źródło: <http://www.halas.wortale.net>

To ostatnie zjawisko, czyli dyfrakcja ma podstawowe znaczenie podczas ekranowania. Zgodnie z zasadą Huygensa wszystkie punkty czoła fali można uznać za źródła nowych fal akustycznych. Występowanie dyfrakcji w ekranowaniu akustycznym powoduje ugięcie fali na krawędzi ekranu, co skutkuje zmniejszeniem skuteczności w obszarze cienia akustycznego. Skuteczność ekranu akustycznego maleje wraz ze wzrostem długości fali dźwiękowej²².

Wielkością, która określa skuteczność ekranu akustycznego jest efektywność akustyczna IL (Insertion Loss) oznaczana również symbolem ΔL_e :

$$IL(\Delta L_e) = L_2 - L_1 \quad (2.1)$$

L_1 –poziom ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji przed zastosowaniem ekranu [dB],

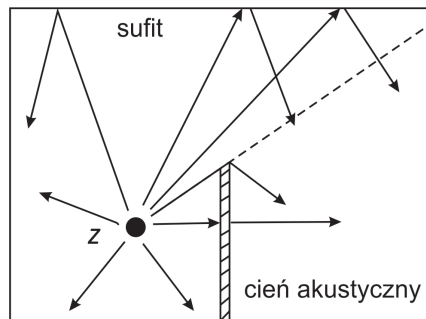
L_2 –poziom ciśnienia akustycznego w punkcie obserwacji po zastosowaniu ekranu [dB].

2.2. Podział ekranów akustycznych

W zależności od miejsca zastosowania ekranów akustycznych można wprowadzić najbardziej ogólny podział na ekrany działające w pomieszczeniach zamkniętych i ekrany w przestrzeni otwartej.

• Ekrany akustyczne w pomieszczeniach zamkniętych

Najlepsze wyniki ekranowania uzyskuje się w dużych pomieszczeniach o wysokiej chłonności akustycznej. Rys. 2.2 ilustruje działanie ekranu akustycznego w pomieszczeniu z sufitem odbijającym, który ogranicza obszar cienia akustycznego.



Rys. 2.2. Ekranowanie źródła energii wibroakustycznej w pomieszczeniu zamkniętym

Źródło: opracowanie własne na podstawie Z.Engel: Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 1993.

Ekrany akustyczne stosowane w pomieszczeniach mogą być stałe lub przenośne. Są nimi np. niepełne ścianki działowe czy przegrody segmentowe. Ekrany mogą być płaskie, kątowe lub o przekroju krzywoliniowym.

²² Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.

Szczególny rodzaj ekranów akustycznych stosowany jest w studiach muzycznych (rys. 2.3).



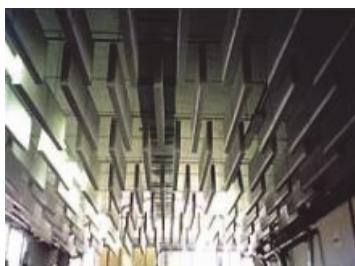
Rys. 2.3. Ekran Vicoustic Flexi

Źródło: <https://muzyczny.pl>

Rozmieszczenie ekranów w pomieszczeniu zależne jest od położenia źródła hałasu, ilości źródeł i rodzaju pomieszczenia, zawsze stroną pochłaniającą ekranu od źródła. Aby ekran akustyczny spełniał swoją rolę, czas pogłosu w pomieszczeniu, gdzie jest stosowany, powinien w całym zakresie częstotliwości wynosić poniżej 3 sekund. Jeżeli czas pogłosu wynosi powyżej 6s i jeżeli widmo emitowanego przez źródło hałasu skupione jest w zakresie niskich częstotliwości (np. < 500 Hz), efektywność stosowanego ekranu będzie niska < 3 dB.

Ekrany akustyczne (dźwiękochłonno-izolacyjne) stosuje się często w pomieszczeniach biurowych jako osłony danego stanowiska pracy w celu tłumienia hałasu emitowanego przez inne stanowiska pracy biurowej, maszyny i urządzenia oraz w celu tłumienia hałasu emitowanego z danego stanowiska na zewnątrz. Skuteczność poprawnie zastosowanych ekranów dźwiękochłonno-izolacyjnych ocenia się na 5-10 dB w odległości ok. 1,5 m za ekranem, na osi prostopadłej do jego powierzchni.

W pomieszczeniach o przekroczonych dopuszczalnych poziomach hałasu może być stosowana większa liczba podwieszanych ekranów (nazywanych często panelami dźwiękochłonnymi); ilustruje to rys. 2.4, na którym pokazano sposób obniżenia poziomu hałasu w hali produkcyjnej poprzez zawieszenie dużej ilości ekranów. Projekt firmy Technica Italiana Sasal.



Rys. 2.4. Podwieszane panele akustyczne

Źródło: <http://www.sasal.pl>

Podczas projektowania ekranów akustycznych stosowanych w pomieszczeniach należy uwzględnić przede wszystkim następujące czynniki²³:

- parametry akustyczne źródła,
- parametry ekranu,
- odległość ekranu od źródła, dla źródła dominującego odległość ta powinna wynosić 0,5-1 m,
- usytuowanie w stosunku do stanowiska pracy (w przypadku kilku źródeł), wymiary liniowe ekranu powinny spełniać zależność:

$$\frac{H}{\lambda} \geq 5, \quad \frac{l}{\lambda} \geq 5 \quad (2.2)$$

gdzie: H – wysokość ekranu [m],

l – szerokość ekranu [m],

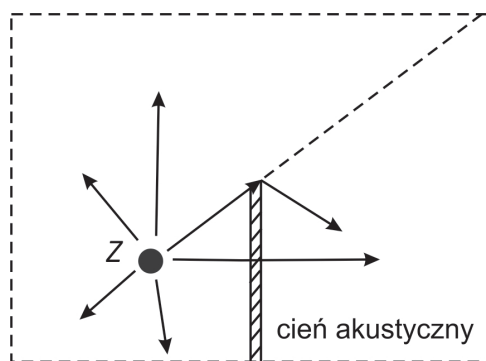
λ – długość fali akustycznej [m],

- właściwości dźwiękochłonne i dźwiękoizolacyjne materiałów, z których wykonano ekran, wymagana wartość izolacyjności akustycznej R powinna spełniać warunek: $R \geq IL + 10$ dB.

• Ekrany akustyczne w przestrzeni otwartej

Ekrany akustyczne umieszczane 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, podczas kiedy od kilku lat obserwujemy skuteczną ochronę miejsc pracy przed hałasem innymi metodami. Skuteczność ekranowania w środowisku zewnętrznym jest wyższa aniżeli w pomieszczeniach. Rys. 2.5 ilustruje działanie ekranu akustycznego w otwartej przestrzeni.

Powszechnie występujące w przestrzeni otwartej ekrany akustyczne to ekrany komunikacyjne. Te właśnie ekrany są najobszerniej opisane w literaturze.



Rys. 2.5. Ekranowanie źródła hałasu w przestrzeni otwartej

Źródło: opracowanie własne na podstawie Z. Engel:

Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 1993.

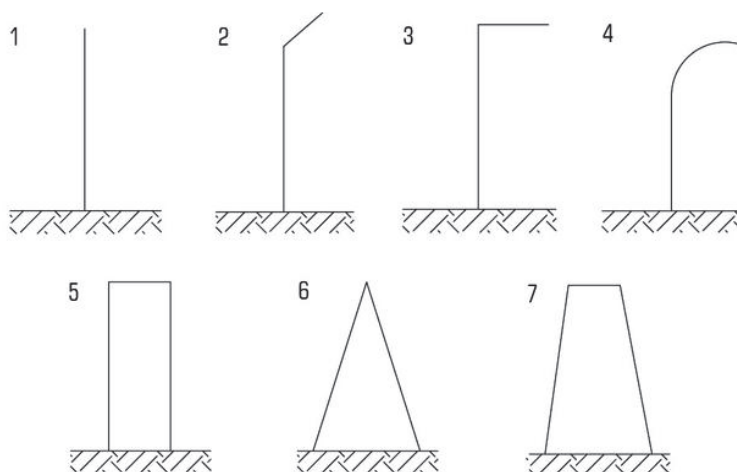
²³ Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem. PWN, Warszawa 2001.*

Istnieje w literaturze przedmiotu wiele podziałów ekranów akustycznych ze względu na różne punkty widzenia^{24, 25}.

1. Podział ze względu na sposób powstania:

- naturalne (zieleń, skarpy, wzniesienia),
- sztuczne elementy urbanistyczne (ekrany, budynki, nasypy).

2. Podział ze względu na kształt przekroju poprzecznego (rys. 2.6):



Rys. 2.6. Kształty przekrojów poprzecznych ekranów

1. ekran pionowy, 2. ekran pionowo-nadwieszony, 3. ekran poziomy, 4. ekran łukowy,
5. ekran prostokątny, 6. ekran trapezowy, 7. ekran trapezowy

Źródło: opracowanie własne na podstawie Z. Engel i inni, *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

3. Podział ze względu na kształt przekroju podłużnego:

- płaskie,
- wg linii łamanej.

4. Podział w zależności od właściwości akustycznych:

- pochłaniające dźwięki – zbudowane są z materiałów absorpcyjnych sprawiających, że część fali dźwiękowej nie wraca do środowiska, lecz jest pochłaniana przez ekran (wykonywane m.in. z paneli metalowych, aluminiowych, drewnianych lub z tworzywa sztucznego wypełnionych materiałem absorpcyjnym),
- odbijające dźwięki – nie dopuszczają do przejścia fali akustycznej przez przegrodę, ale skierowują ją w kierunku, z którego nadeszła (wykonane m.in. z poliwęglanu, szkła akrylowego),
- odbijająco-rozpraszające dźwięki – dzięki zagłębieniom i wypustkom na ich powierzchni fala dźwiękowa rozprasza się.

²⁴ Canetto P., *Techniques de reduction du bruit en entreprise*. Institut National de Recherche et Securite. Paris 2005.

²⁵ Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.

5. *Podział ze względu na usytuowanie przy drogach:*

- na estakadzie,
- w wykopie,
- na nasypie,
- wolnostojące.

6. *Podział ze względu na wysokość (podział stosowany w praktyce inżynierskiej):*

- wysokie (wysokość do 7 m) – ich efektywność akustyczna w optymalnych warunkach urbanistycznych może wynosić do 20 dB; najczęściej jednak waha się w granicach 12-15 dB; stosuje się je głównie do ochrony budynków wielokondygnacyjnych; bardzo ważnym czynnikiem przy ochronie tego typu budynków jest długość ekranu,
- średnie (wysokość do 5 m) – ich efektywność akustyczna nie przekracza 15 dB; w praktyce wynosi ona ok. 8-12 dB; bardzo dobrze chronią budynki o 2 lub 3 kondygnacjach,
- niskie (wysokość do 3,5 m) – stosowane są do ochrony przed hałasem terenów rekreacyjnych; ich efektywność dochodzi wówczas do 8 dB,
- bardzo niskie (wysokość do 1 m) – służą do ochrony przed hałasem pochodzącym od pojazdów szynowych; ich skuteczność wynosi ok. 4 dB.

7. *Podział ze względu na mobilność:*

- stałe (wszystkie ekrany chroniące przed hałasem komunikacyjnym są stałe),
- przenośne (ekrany ustawiane na dłuższe okresy czasu).

Dotychczas produkowane przenośne ekrany akustyczne posiadają duży ciężar od 100 kg do 330 kg, a zatem ich mobilność jest ograniczona. Przykład takiego ekranu pokazano na rys. 2.7. Jest to: mobilny ekran akustyczny – o wysokości 2200 mm (ciężar 330 kg). Ekran ten umieszczony jest na podwoziu.



Rys. 2.7. Ekran produkowany przez firmę Pascal

Źródło: <http://www.tremolo.pl>

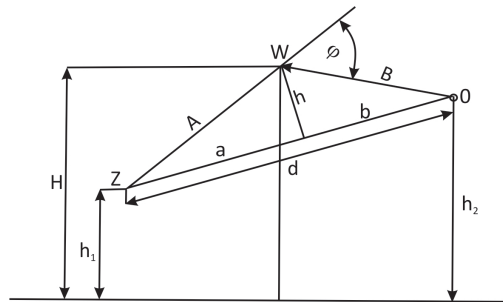
2.3. Obliczenia ekranów akustycznych

Rozchodzenie się fal akustycznych w środowisku, w którym umieszczono ekran akustyczny jest problemem wyjątkowo złożonym. Fale dźwiękowe w środowisku z ekranem podlegają pochłanianiu, odbiciu, interferencji i dyfrakcji, które to zjawiska nie są do końca rozwiązywane. Zmienne widmo hałasu, zmienne tło akustyczne, różnorodne usytuowanie ekranu w środowisku, ograniczenia materiałowe itp. dodatkowo utrudniają teoretyczne obliczenia efektywności akustycznej ekranów.

Do celów obliczeniowych rzeczywiste źródła hałasu komunikacyjnego modeluje się źródłami teoretycznymi:

- jako źródło punktowe – wymiary małe w porównaniu z odległością – modelowane jako punkt drgający (pojedynczy pojazd emituje falę kulistą),
- jako źródło liniowe – długość źródła jest większa od odległości do punktu obserwacji – szereg źródeł punktowych w bliskiej odległości od siebie, emitują falę zbliżoną do fali cylindrycznej.

Podstawowym schematem stosowanym przy obliczeniach ekranów akustycznych jest układ: źródło dźwięku-ekran-odbiorca²⁶. Przedstawiono to na rys. 2.8.



Rys. 2.8. Schemat układu źródło-ekran-odbiorca

Źródło: Z. Engel, *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. PWN, Warszawa 1993.

Wielkości występujące na rysunku:

Z – źródło dźwięku, O – odbiorca fali dźwiękowej, h_1 – wysokość źródła dźwięku, h_2 – wysokość odbiorcy fali dźwiękowej, H – wysokość ekranu, Ψ – kąt ugięcia fali dźwiękowej na krawędzi ekranu.

Źródło dźwięku, odbiorca i wierzchołek ekranu tworzą trójkąt ZWO, którego wysokość h nazwana jest efektywną wysokością ekranu.

Do obliczeń efektywności akustycznej IL ekranów komunikacyjnych przyjęto jako źródło dźwięku źródło liniowe, a nie jak w początkowych metodach źródło punktowe. Opracowano zależności empiryczne dla zmierzonego przebiegu widma hałasu komunikacyjnego. W ośrodkach badawczych zajmujących się problemem hałasu komunikacyjnego opracowano kilka metod wyznaczania wielkości IL ekranu. W każdej z nich metodą prób dobierano wysokość ekranu, która w tych

²⁶ Engel Z., *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.

procesach obliczeniowych jest wielkością wyjściową. Poniżej przedstawiono najczęściej stosowane metody obliczeń. We wszystkich przedstawionych metodach założono, że ekran jest prostopadłościenną cienką płytką o nieskończonej długości. Nieuwzględniany jest wpływ wymiarów ekranu, kształty przekroju poprzecznego, właściwości materiałów, z których zbudowany był ekran. Są to zatem metody przybliżone.

Pomimo takich założeń (przybliżeń), efektywność akustyczna obliczona tymi metodami, jest w dużym stopniu zgodna z doświadczeniem.

Metoda Rettingera

W metodzie tej należy obliczyć wartość wskaźnika w dla różnych sytuacji źródło-odbiorca²⁷.

1. Źródło i odbiorca na tej samej wysokości (rys. 2.8a):

$$w = \frac{1,41h}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{\frac{a+b}{ab}} \quad (2.3)$$

2. Źródło i odbiorca na różnych poziomach (rys. 2.8b):

$$w = \left(H + \frac{b(H-h_1)}{a} - h_2 \right) \sqrt{\frac{2a \cos \alpha}{b(a+b)}} \quad (2.4)$$

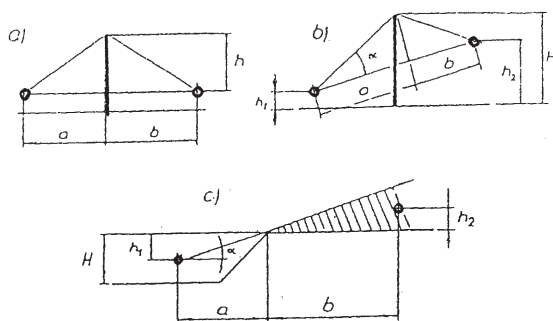
3. Źródło w wykopie (rys. 2.8):

$$w = \left(\frac{h_1 b}{a} - h_2 \right) \sqrt{\frac{2a \cos \alpha}{b(a+b)}} \quad (2.5)$$

λ – długość fali dźwiękowej [m],

$a, b, h, H, h_1, h_2, \alpha$ – wielkości pokazane na rys. 2.9.

Po obliczeniu wartości wskaźnika w , efektywność akustyczną IL można wyznaczyć korzystając z wykresu zależności w/IL (rys. 2.9).

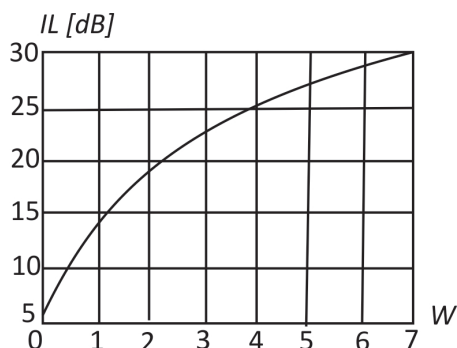


Rys. 2.9. Układy źródło-odbiorca stosowane w metodzie Rettingera

Źródło: opracowanie własne na podstawie C.M. Harris: *Handbook of Noise Control*, Mc Graw Hill Book Company, Nowy York.

²⁷ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S., *Ekrany akustyczne*. Ministerstwo Ochrony Środowiska. Kraków 1990.

Jeżeli chcemy otrzymać wynik IL zgodnie z korekcją A, przyjmujemy długość fali $\lambda = 0,68$ m, odpowiada to częstotliwości 500 Hz²⁸.

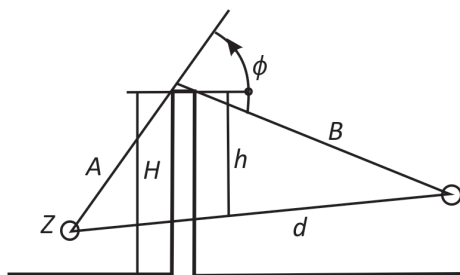


Rys. 2.10. Wyznaczanie IL ekranu metodą Rettingera

Źródło: opracowanie własne na podstawie Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

Metoda Redfearna

W metodzie tej uwzględniono tylko jeden układ źródło-odbiorca, który przedstawiony jest na rys. 2.11.²⁹



Rys. 2.11. Układ źródło-ekran-odbiorca przyjęty w metodzie Redfearna

Źródło: Z. Engel (red.): *ograniczenie imisji hałasu do środowiska zewnętrznego...*, AGH, Kraków, 1996.

Metoda Redfearna pozwala na wyznaczenie efektywności akustycznej ekranów zarówno dla źródła punkowego, jak i liniowego³⁰.

Aby określić IL dla źródła punkowego, należy wyznaczyć liczbę Fresnela N :

$$N = \frac{2\delta}{\lambda} \quad (2.6)$$

$$\Delta = A + B - d \quad (2.7)$$

²⁸ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.

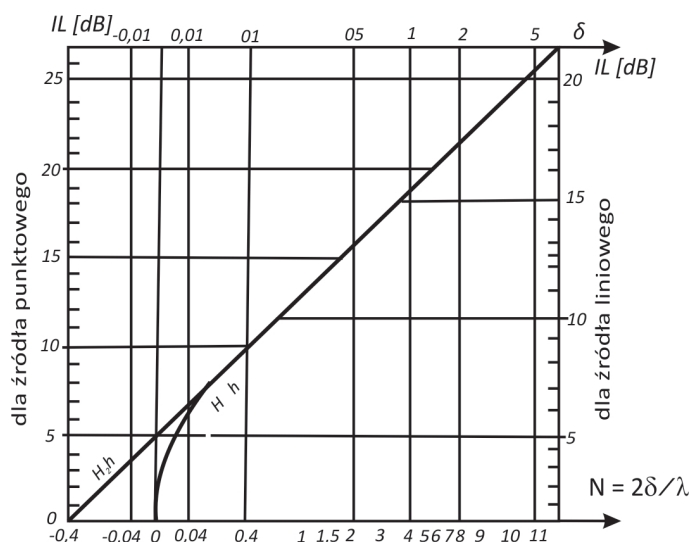
²⁹ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.

³⁰ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.

λ – długość fali dźwiękowej dominującej w widmie [m], zaleca się przyjąć $\lambda = 0,5$ m.

Aby określić IL dla źródła liniowego, jako wskaźnik należy przyjąć wielkość δ . Wielkość ta jest różnicą dróg promienia fali ugiętej na krawędzi ekranu i fali bezpośredniej.

Wartość efektywności akustycznej ekranu można odczytać z wykresu wspólnego dla źródła punktowego i liniowego (rys. 2.12).³¹



Rys. 2.12. Wykres do wyznaczania IL wg metody Redfearna

Źródło: Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

Metoda Delany'ego

W metodzie tej przyjęto układ źródło-ekran-odbiorca taki sam jak w metodzie Redfearna, tzw. źródło dźwięku i odbiorca znajdują się na różnych wysokościach (rys. 2.11). Efektywność akustyczną ekranów wyznaczyć można z wykresów przedstawionych na rys. 2.12, w zależności od obliczonych wskaźników³²:

- dla liniowego źródła dźwięku w zależności od $\delta = A + B - d$,
- dla punktowego źródła dźwięku w zależności od liczby Fresnela $N = \frac{2\delta}{\lambda}$.

Metoda VDI-2720

W metodzie tej uwzględniono odbicia fal dźwiękowych od powierzchni dróg i otaczających budynków. Metoda VDI-2720 wprowadza dwie poprawki: C_1 i C_2 . Pierwsza z nich dotyczy wzajemnego położenia źródła Z i odbiorcy O

³¹ tamże.

³² Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.

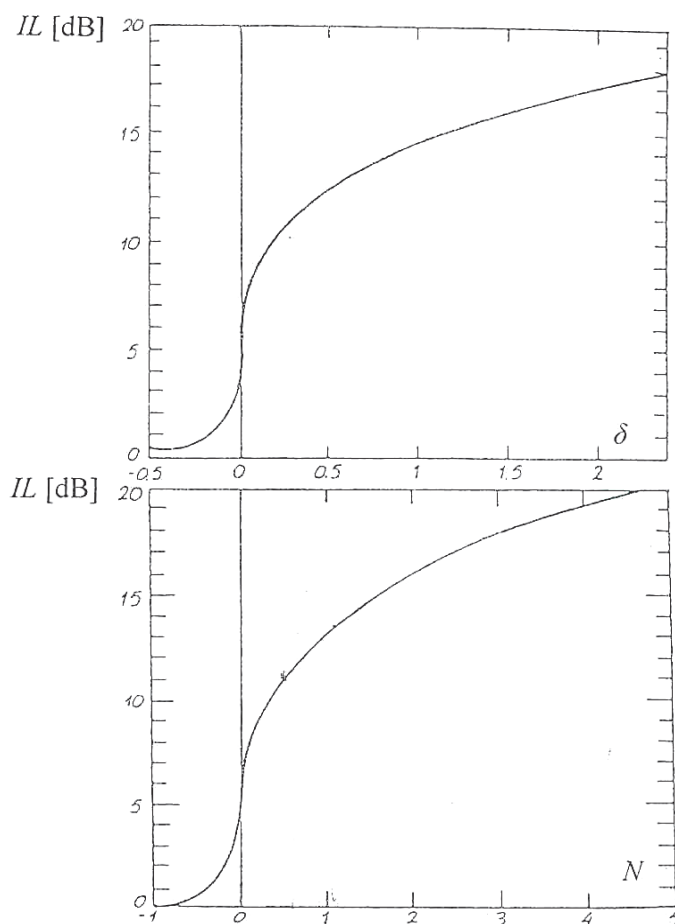
w stosunku do podłoża. Różne układy źródło-odbiorca uwzględnia również metoda Rettingera. Poprawka C_1 przyjmuje wartości całkowite³³:

- 1 – Z i O na tej samej wysokości, przy czym zaleca się przyjęcie wstępne położenia źródła dla ruchu drogowego 0,5 m,
- 2 – Z i O na różnych wysokościach, O powyżej 1,5 m nad podłożem,
- 3 – Z i O na większych wysokościach.

Poprawka C_2 uwzględnia odbicie fal dźwiękowych i rozproszenie w przestrzeni między źródłem a ekranem. Wartość tej poprawki wynosi od 10 do 40 i zależy od tego czy dyfrakcja jest dominująca na górnej czy bocznej krawędzi ekranu,

Do opracowanych zależności wprowadzono również grubość ekranu.

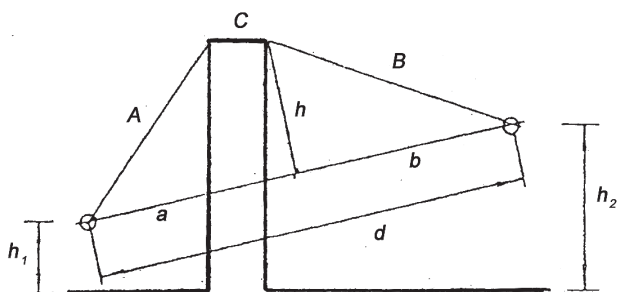
Układ źródło-ekran-odbiorca przedstawiono na rys. 2.14.



Rys. 2.13. Efektywność ekranowania wg metody Delany'ego

Źródło: Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

³³ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.



Rys. 2.14. Układ źródło-ekran-odbiorca stosowany w metodzie VDI-2720

Źródło: Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

Sposób obliczeń został w pełni zlogarytmizowany i przedstawiony w tabelach, gdzie krok po kroku można obliczyć przewidywaną wartość ekranowania IL. Tabele przedstawiono w pracy: *VDI-2720 – Schallschutz durch Abschirmung im Freien. VDI-Richtlinien*, juni 1981.

Metoda Maekawy

Długoletnie badania efektywności akustycznej, prowadzone na Uniwersytecie w Kobe przez prof. Z. Maekawę, zaowocowały opracowaniem metody obliczania efektywności ekranowania IL, zwanej „metodą Maekawy”. Jest to najczęściej stosowana metoda wyznaczania efektywności akustycznej ekranów, w szczególności w odniesieniu do źródeł hałasu komunikacyjnego. Wartość IL wyznacza wzór³⁴:

$$IL = 5 + \log \frac{\sqrt{2\pi|N|}}{\operatorname{tg} \sqrt{2\pi|N|}} \quad [\text{dB}] \quad (2.8)$$

N – liczba Fresnela $N = \frac{2\delta}{\lambda}$, $\delta = A + B - d$ [m] (wg rys. 2.8).

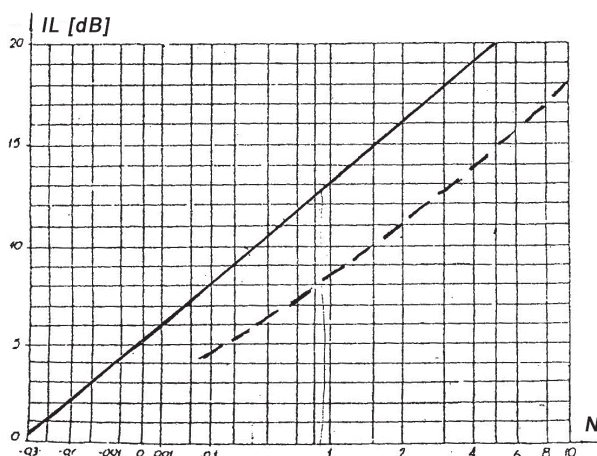
Liczba 5 występująca w powyższym wzorze wynika ze zjawisk dyfrakcji na krawędzi ekranu.

Jeżeli liczba Fresnela ma wartość $N \geq 1$, w celu określenia IL można stosować wzór uproszczony:

$$IL = 10 \log(20 N) \quad [\text{dB}] \quad (2.9)$$

Efektywność akustyczną ekranów można, stosując metodę Maekawy, określić również z wykresu – rys. 2.14.

³⁴ Engel Z.: *Ochrona środowiska ...*, dz. cyt.



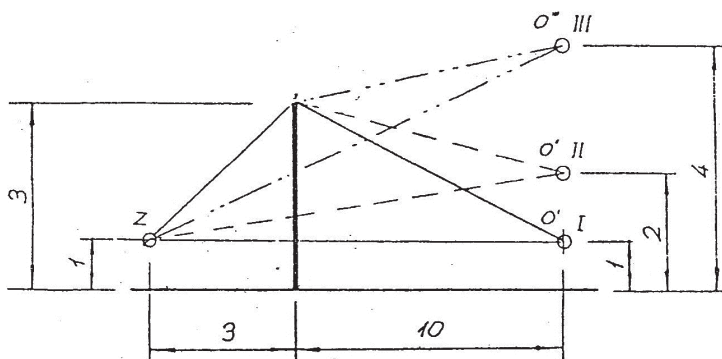
- linia ciągła na wykresie dotyczy źródła punkowego,
- linia przerywana na wykresie dotyczy źródła liniowego.

Rys. 2.15. Wykres efektywności akustycznej ekranów wg metody Maekawy

Źródło: opracowane na podstawie Z. Engel: *Ochrona środowiska przed drganiami i hałasem*. PWN, Warszawa 1993, Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

2.4. Porównanie efektywności ekranowania obliczonej według przedstawionych metod obliczeniowych

W pracy³⁵ przedstawiono porównanie wyników obliczeń IL wykonanych zgodnie ze znanymi metodami obliczeniowymi. Obliczenia przeprowadzono dla następujących danych: wysokość odbiorcy – 1 m, 2 m, 4 m, wysokość ekranu – 3 m, odległość źródła od ekranu – 3 m, odległość odbiorcy od ekranu – 10 m, częstotliwość odniesienia – 500 Hz (rys. 2.16). Wyniki obliczeń IL dla źródła liniowego przedstawiono w tabeli 2.1.



Rys. 2.16. Schemat układu źródło-ekran-odbiorca zastosowanego do obliczeń IL

Źródło: Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

³⁵ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.

Tabela 2.1

Metoda obliczeniowa	IL [dB] p. I	IL [dB] p. II	IL [dB] p. III
Retingera	20,2	18,2	15,7
Redfearna	16,6	15,2	13,0
VDI 27-20	14,2	13,2	10,6
Delany'ego	16,9	15,5	12,9
Mackawy	16,7	15,6	12,8

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

Najbardziej zbliżone są wyniki obliczeń wg metod Mackawy i Delany'ego; różnice te zwiększają się w przypadku przyjęcia źródła punktowego (tabela 2.2)

Tabela 2.2

Metoda obliczeniowa	IL [dB] p. I	IL [dB] p. II	IL [dB] p. III
Delany'ego	13,5	13,0	11,1
Mackawy	12,5	11,0	8,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Z. Engel i inni: *Ekrany akustyczne*, MOŚ, Kraków 1990.

Porównanie wartości IL ekranu o wysokości 6 m, obliczonej według metody Delany'ego z wynikami pomiarów IL tego ekranu w warunkach rzeczywistych, pozwala ocenić tę metodę jako dobrą³⁶. Uzyskano zgodność wyników obliczeń i pomiarów w punktach znajdujących się poniżej wysokości ekranu (różnice wynosiły do 2 dB). W punktach na krawędzi ekranu różnice były większe – 5 dB.

Dobra zgodność pomiarów i obliczeń IL wymienionego ekranu, przedstawiona w literaturze³⁷, nie występuje we wszystkich badanych przypadkach. Metody teoretyczne obliczania skuteczności ekranowania stosują uproszczenia. Najważniejsze przyjęte uproszczenia to: ekran jest nieskończenie długi, źródło jest idealne, punktowe lub liniowe, wpływ warunków atmosferycznych jest pomijalnie mały.

W warunkach rzeczywistych występują:

- skończona długość ekranu,
- określona grubość ekranu,
- źródło o określonej szerokości,
- pole fal odbitych,
- niekorzystne warunki atmosferyczne,
- zmienna charakterystyka częstotliwości źródła.

Wszystkie te czynniki powodują obniżenie skuteczności działania ekranu, tzw. degradację skuteczności ekranu³⁸. W warunkach rzeczywistych czynników powodujących degradację skuteczności ekranowania jest często znacznie więcej.

³⁶ Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany ...*, dz. cyt.

³⁷ tamże.

³⁸ Makarewicz R., *Hałas w środowisku*. OWN, Poznań 2001.

W przypadku pola dyfuzyjnego (duża liczba fal odbitych) degradacja skuteczności ekranowania jest mała, gdy:

$$\frac{D}{H} \gg 20$$

Ekran powinny być silnie pochłaniające, jeżeli:

$$\frac{D}{H} \ll 10$$

D – odległość między równoległymi powierzchniami odbijającymi,

H – wysokość efektywna ekranu.

Nie wszystkie czynniki powodujące degradację skuteczności ekranowania można przewidzieć. Dlatego też należy prowadzić pomiary rzeczywistej efektywności ekranowania zbudowanych obiektów, pozwoli to na udoskonalanie projektów.

Należy pamiętać, że powyższe metody i rozważania dotyczą w przeważającym stopniu ekranów komunikacyjnych.

2.5. Zalecenia dotyczące stosowania ekranów komunikacyjnych

Aby ekran akustyczny spełnił swoje zadanie, powinien³⁹:

- posiadać długość przekraczającą rozmiar liniowy „odbiorcy” (budynku itp.),
- nie powinien zawierać przerw wzdłuż swojej długości,
- powinien być umiejscowiony blisko źródła dźwięku,
- posiadać wysokość odpowiednią do źródła i odbiorcy,
- odbiorca musi znajdować się w cieniu akustycznym, w przypadku budynku warunek ten będzie spełniony, gdy spełniona będzie zależność:

$$h_o \leq \frac{r_o}{r_e}(h_e - h_z) + h_z \quad (2.10)$$

gdzie: h_o – wysokość punktu obserwacji [m],

r_o – odległość horyzontalna punktu obserwacji od źródła [m],

r_e – odległość horyzontalna ekranu od źródła [m],

h_e – wysokość ekranu akustycznego [m],

h_z – wysokość źródła dźwięku [m].

Powyższy wzór wyklucza więc stosowanie ekranów akustycznych w celu ochrony budynków wysokich. W zwartej zabudowie miejskiej budowa ekranów akustycznych według zaleceń jest niemożliwa.

Zastosowanie ekranów komunikacyjnych rzadko obniża hałas do poziomów poniżej dopuszczanych normami, jednak wobec wyjątkowo wysokich poziomów emitowanego hałasu komunikacyjnego, każde, nawet niewielkie, obniżenie hałasu poprawia stan środowiska. Dotyczy to także małych ekranów, będących przedmiotem monografii, stosowanych podczas pracy małych maszyn roboczych.

³⁹ Kazimierska-Grębosz M., Grądzki R.: *The role of noise maps for the noise management in the cities*. Applied Mechanics and Materials, Tom: 806, 2015.

2.6. Przykłady zastosowanych ekranów komunikacyjnych

Ekrany akustyczne najczęściej znajdują zastosowanie przy już istniejących drogach. Stanowią one ochronę przed hałasem dla budynków znajdujących się w pobliżu tras komunikacyjnych. Nowe drogi i autostrady planowane są z uwzględnieniem istniejącej zabudowy. Dąży się do takiego wytyczenia ich tras, aby omijały tereny zabudowane. Nie zawsze jest to możliwe i wtedy już na etapie projektowania dróg planuje się budowę ekranów akustycznych. Ekrany projektowane wraz z trasą komunikacyjną lepiej spełniają swą rolę. Ustawienie ekranu pomiędzy istniejącą drogą i zabudową często napotyka na trudności, ekran taki nie spełnia wszystkich warunków stawianym ekranom akustycznym. Poniżej przedstawiono przykłady zrealizowanych ekranów akustycznych komunikacyjnych.



Rys. 2.17a.



Rys. 2.17b.

Rys. 2.17. Ekrany akustyczne firmy Ekobel: a – przy autostradzie A2 w Koninie,
b – w Nowym Tomyślu

Źródło: www.ekobel.com.pl



Rys. 2.18a.



Rys. 2.18b.

Rys. 2.18. Ekrany akustyczne firmy Weldon: a – ekran "zielona ściana",
b – przezroczysty

Źródło: www.weldon.pl



Rys. 2.19a.



Rys. 2.19b.



Rys. 2.19c.

Rys. 2.19. Przykłady ekranów akustycznych: a – wspomagany zielenią, b – przy torze kolejowym, c – chroniący budynek, ten ekran nie chroni mieszkańców wyższych kondygnacji

Źródło: www.huby.seo.pl



Rys. 2.20a.



Rys. 2.20b.



Rys. 2.20c

Rys. 2.20. Ekrany akustyczne firmy Techbud: a – ekran przy torach kolejowych w Koluszkach, b – ekran przy obwodnicy miasta Wojnice, c – ekran w Krakowie

Źródło: www.techbud.com.pl

3. Badania doświadczalne modeli ekranów akustycznych

3.1. Przedmiot badań – maszyny

Od kilku lat w Zakładzie Podstaw Techniki i Ekologii Przemysłowej prowadzone są badania nad przenośnymi ekranami akustycznymi, które znalazłyby zastosowanie jako zabezpieczenia przed hałasem emitowanym przez małe maszyny do prac ziemnych. Były to wstępne prace, które obejmowały badania modeli ekranów w warunkach laboratoryjnych. Źródłem hałasu było modelowe źródło dźwięku, które odwzorowało hałas emitowany przez wybraną maszynę. Odwzorowanie dotyczyło poziomów dźwięku dla środkowych częstotliwości pasma oktawowego. Badano skuteczność akustyczną ekranowania (efektywną izolacyjność akustyczną) – Insertion Loss (IL). Wielkość ta przedstawia rzeczywisty efekt zastosowania ekranu. Jest to różnica poziomów ciśnienia akustycznego w tym samym punkcie pomieszczenia przed (L_{01}) i po zastosowaniu przegrody (L_{02}):

$$IL = L_{01} - L_{02} \quad [\text{dB}] \quad (3.1)$$

Ta część pracy nie była tematem przedstawianego projektu. Projekt zajmuje się możliwościami obniżenia poziomu hałasu maszyn pracujących na zewnątrz pomieszczeń poprzez zastosowanie ekranów akustycznych.

Wyniki przeprowadzonych wcześniej badań efektywności akustycznej ekranów akustycznych w warunkach laboratoryjnych bardzo często nie zgadzają się z wynikami badań przeprowadzonych w rzeczywistych warunkach na ulicach miast. Związane jest to z występowaniem dodatkowych źródeł dźwięku, które zmieniają sytuację akustyczną w otoczeniu badanych maszyn. Poziom hałasu w otoczeniu pracującej maszyny zależy od wielu zmiennych czynników, z tego też powodu zdecydowano się, po wykonaniu wstępnych badań w warunkach laboratoryjnych, na przeprowadzenie pomiarów zaprojektowanych modeli ekranów akustycznych podczas eksploatacji maszyn w warunkach rzeczywistych.

Do badań wybrano małe niemobilne lub mało mobilne maszyny do prac ziemnych wykonujące prace podczas prac drogowych w środowisku miejskim. Część wybranych maszyn pracowała na ulicach Łodzi w czasie realizacji projektu Łódzkiego Tramwaju Regionalnego realizowanego w latach 2008-2009 oraz modernizacji sieci wodno-kanalizacyjnej w latach 2009-2010. Dla części maszyn wykonano pełen założony cykl pomiarów (p. 3.2), dla innych, ze względu na tryb prowadzonych robót, wykonano pomiary w węższym zakresie, np. nie wykonano pomiarów poziomu hałasu w funkcji częstotliwości.

Badane maszyny to:

- piła tarczowa TRAg 180AR, 1400W, 7000 obr/min. (piła A),
- piła tarczowa PERFORMANCE POWER NT 2200M (2200W), (piła B),
- piła tarczowa do drewna BHS 55, (1020W, 4000 obr/min.), (piła C),
- młot udarowo-obrotowy BOSCH, 1350W, GBH7-46DE,
- zagęszczarka ręczna WACKER 2KW – pionowa,
- zagęszczarka ręczna Honda 4KW – pozioma.

Maszyny przedstawiono na rysunkach 3.1-3.6.



Rys. 3.1. Piła A

Źródło: foto – wykonanie własne.



Rys. 3.2. Piła B

Źródło: foto – wykonanie własne.



Rys. 3.3. Piła C

Źródło: foto – wykonanie własne.



Rys. 3.4. Młot udarowy

Źródło: foto – wykonanie własne.

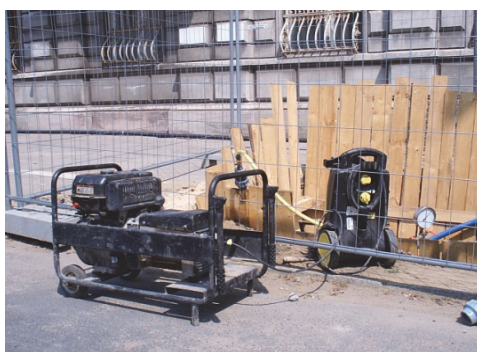


Rys. 3.5. Zagęszczarka pozioma
Źródło: foto – wykonanie własne.



Rys. 3.6. Zagęszczarka pionowa
Źródło: foto – wykonanie własne.

W czasie prowadzonych badań w Łodzi wykonywane były również inne roboty drogowe. Wykorzystując tę sytuację, wykonano pomiary innych maszyn, na przykład takich jak pokazano na rys. 3.7 i 3.8. W przypadku tych maszyn wykonano pojedyncze pomiary bez zastosowania wybranego modelu ekranu akustycznego i z modelem ekranu. Na szersze prowadzenie badań nie pozwoliły warunki pracy maszyn.



Rys. 3.7. Agregat prądotwórczy
Źródło: foto – wykonanie własne.



Rys. 3.8. Równiarka Honda Gx160
Źródło: foto – wykonanie własne.

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

Biorąc pod uwagę podział hałasu, przedstawiony w rozdziale 2, 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 klasyfikację źródeł drgań mechanicznych i akustycznych (przedstawioną w rozdziale 1), 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.

3.2. Warunki przeprowadzania pomiarów

W pierwszym etapie badań doświadczalnych zostały przeprowadzone pomiary poziomu hałasu emitowanego do środowiska przez maszyny pracujące na zewnątrz pomieszczeń. Zmierzono równoważny poziom dźwięku A:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{p_A(t)}{p_0} \right)^2 dt \right] \quad (3.2)$$

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

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

Badania doświadczalne poziomu hałasu powstającego przy pracy maszyn wykonano zgodnie z zaleceniami PN-N-01341, PN-ISO 1996-1, PN-N-01307, PN-ISO 10847^{40, 41, 42, 43} z uwzględnieniem warunków pracy maszyn.

Pomiary równoważnego poziomu dźwięku A (L_{eq}) wykonano precyzyjnym całkującym miernikiem dźwięku Typ 2238A firmy Brüel&Kjær z filtrem oktawowym. Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano program Noise Explorer Type 7815.

Noise Explorer Type 7815 to program do zapisywania, pobierania i przetwarzania danych pomiarowych poziomu dźwięku z mierników firmy Brüel & Kjær (rys. 3.9). Noise Explorer wykorzystuje unikalny 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 115200 bps) lub za pośrednictwem karty PCMCIA. Zastosowanie programu:

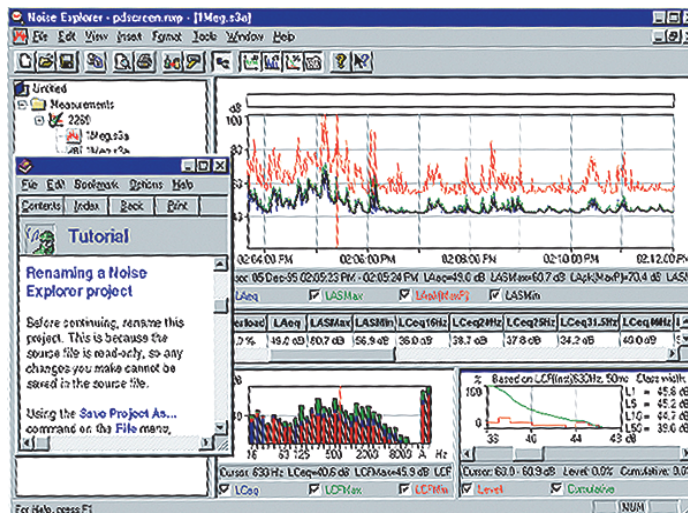
⁴⁰ PN – ISO – 1996-1:2006

⁴¹ PN – N – 01341

⁴² PN – N – 01307

⁴³ PN – ISO 10847

- 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.
- Wyniki pomiarów były eksportowane do programu Excel.



Rys. 3.9. Menu i możliwości programu Noise Explorer Type 7815

Źródło: Noise Explorer Type 7815 help.

Pomiary poziomu hałasu powstającego w czasie pracy maszyn wykonano w ośmiu punktach pomiarowych w odległości 2 m od maszyny. Punkty pomiarowe zostały wybrane równolegle do linii, ustawianych w drugim etapie pomiarów, modeli ekranów. Jeżeli warunki pracy maszyny na to pozwalały oraz jeżeli model ekranu można ustawiać było w odległości 0,5 m od maszyny, pomiary mierzono w odległości 1 m od maszyny. Punkty pomiarowe znajdowały się na wysokości 75 cm od podłoża. Wysokość tę wybrano biorąc pod uwagę wielkość maszyn i modeli ekranów. Wykonano także pomiary – dla wybranych modeli na wysokości 1 m, tj. na wysokości krawędzi modelu ekranu, badając mniej korzystne warunki. Sprawdzany był również poziom hałasu na stanowisku pracy operatora maszyny i poziom hałasu na chodniku. 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 pomiaru był różny – od 2 min do 15 min, zależało to od czasu prowadzonych prac remontowych. Wykonano dla każdej maszyny minimum osiemdziesiąt pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A w czasie pracy maszyny oraz około

osiemdziesięciu pomiarów dla każdego modelu ekranu, dla każdej badanej częstotliwości.

Dla wybranych maszyn – piły A i piły C – wykonano pomiary hałasu dla częstotliwości 31,5 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 i 8000 Hz. Dla wszystkich tych częstotliwości również powtarzano pomiary wielokrotnie.

Podczas wykonywania wszystkich pomiarów mierzono poziom tła akustycznego.

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

Wykonano również maksymalny poziom dźwięku emitowany w czasie pracy maszyn bez zastosowania modeli ekranów i po umieszczeniu poszczególnych modeli w odległości 1 m (0,5 m) od maszyny. Wykonano taką samą liczbę pomiarów maksymalnego poziomu hałasu jak poziomu równoważnego.

Stwierdzono, że przeprowadzone pomiary poziomu hałasu wybranych maszyn są na tyle wiarygodne, że pozwalają na określenie przekroczeń dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku określonych przez obowiązujące akty prawne.

Wszystkie wyniki tej grupy pomiarów przedstawiono w postaci wykresów i zamieszczono w załączniku niniejszego opracowania.

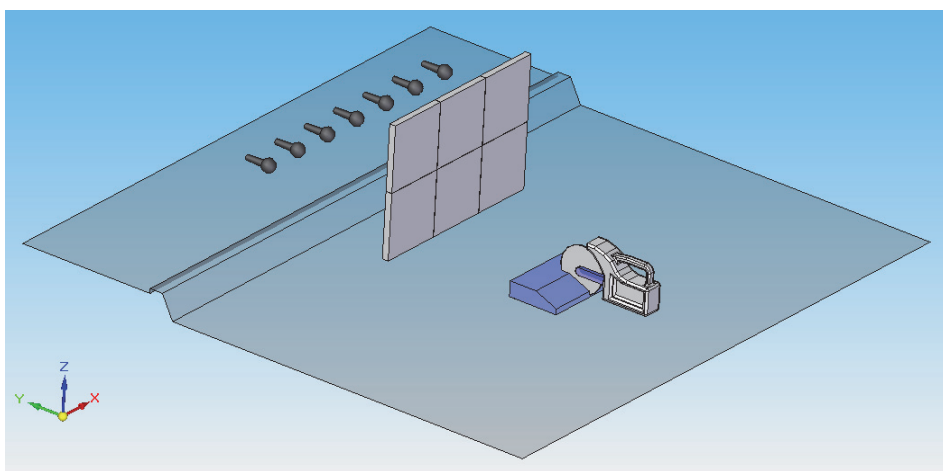
3.3. Przedmiot badań – modele ekranów akustycznych

Celem projektu jest określenie możliwości obniżenia wysokiego poziomu hałasu powstającego w czasie pracy małych maszyn do prac ziemnych poprzez zastosowanie ekranów akustycznych. Aby zrealizować ten cel, zbudowano sześć modeli ekranów akustycznych. Były to następujące modele ekranów:

- prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m, wykonany z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm, zwany dalej „ekranem I”,
- prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m z odchylanym bocznym skrzydłem o wymiarach 0,5 m x 1 m, wykonany z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm, zwany dalej „ekranem II”,
- prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m, wykonany z filcu akustycznego o grubości 17 mm, ekran posiadał dwa odchylane skrzydła o wymiarach 0,5 m x 1 m, zwany dalej „ekranem III”,
- ekran w kształcie otwartego z jednego boku prostopadłościanu o wysokości 1 m i szerokości 1,5 m, wykonany z filcu akustycznego o grubości 17 mm oraz gumy o grubości 2 mm, zwany dalej „ekranem IV” tzw. „buda”,
- dwuwarstwowy, prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m z odchylanym bocznym skrzydłem o wymiarach 0,5 m x 1 m, wykonany z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm i styropianu o grubości 10 mm, zwany dalej „ekranem V”,

- dwuwarstwowy, prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1,5 m, wykonany z filcu akustycznego o grubości 17 mm oraz gumy akustycznej o grubości 2 mm, ekran posiadał dwa odchylane skrzydła o wymiarach 1,5 m x 0,5 m, zwany dalej „ekranem VI”.

Modele ekranów przedstawione są na rysunkach schematycznych oraz na zdjęciach wykonanych w czasie trwania badań.



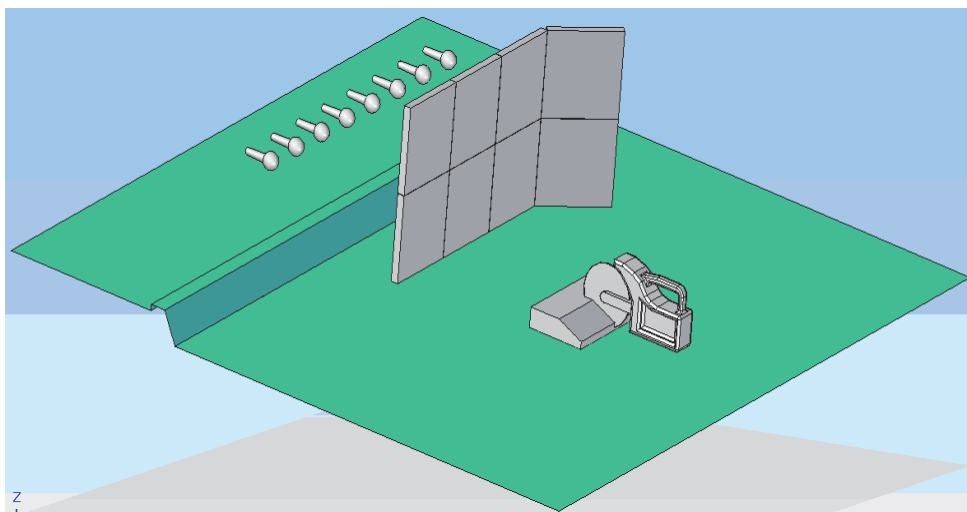
Rys. 3.10a.



Rys. 3.10b.

Rys. 3.10. Model ekranu I: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.11a.

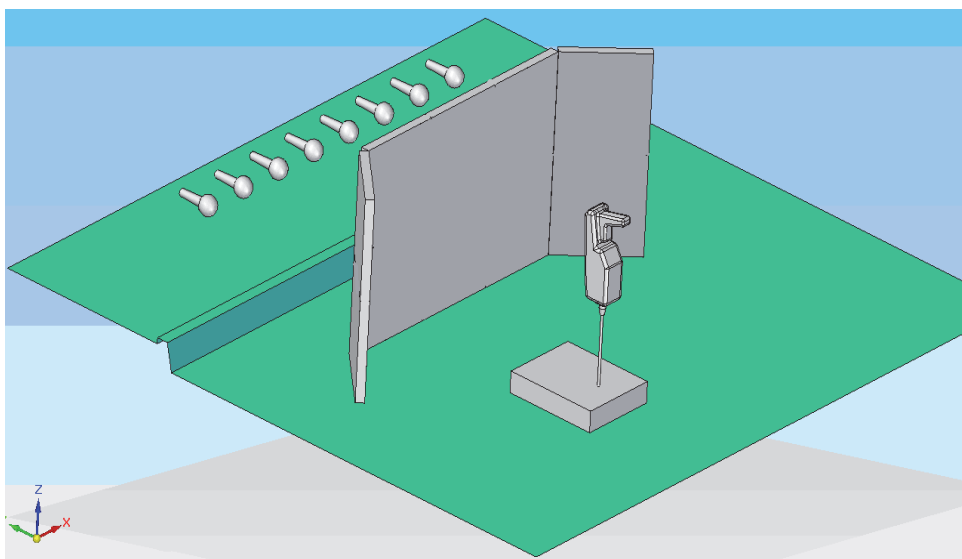


Rys. 3.11b.



Rys. 3.11c.

Rys. 3.11. Model ekranu II: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.12a.



Rys. 3.12b.



Rys. 3.12c.

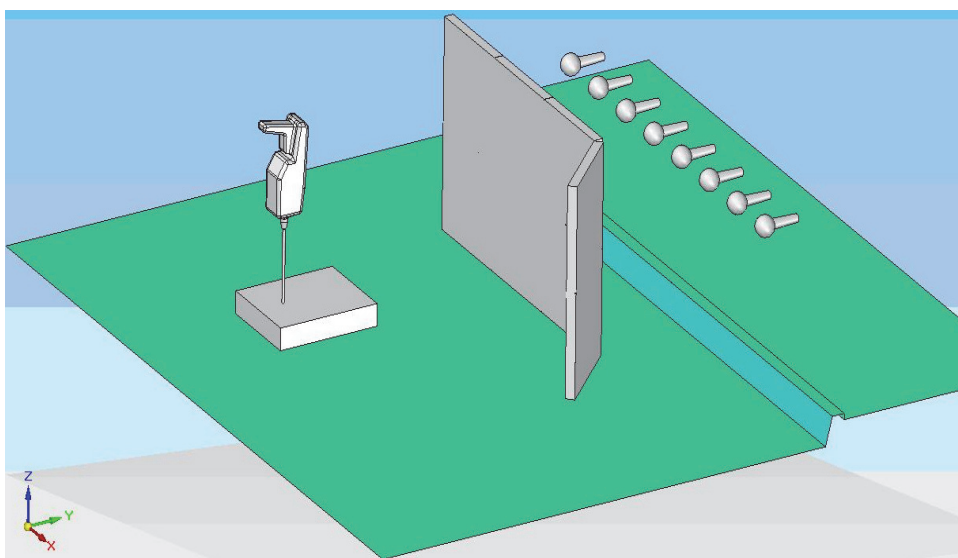
Rys. 3.12. Model ekranu III: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.13. Model ekranu IV „buda” (zdjęcia)

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.14a.



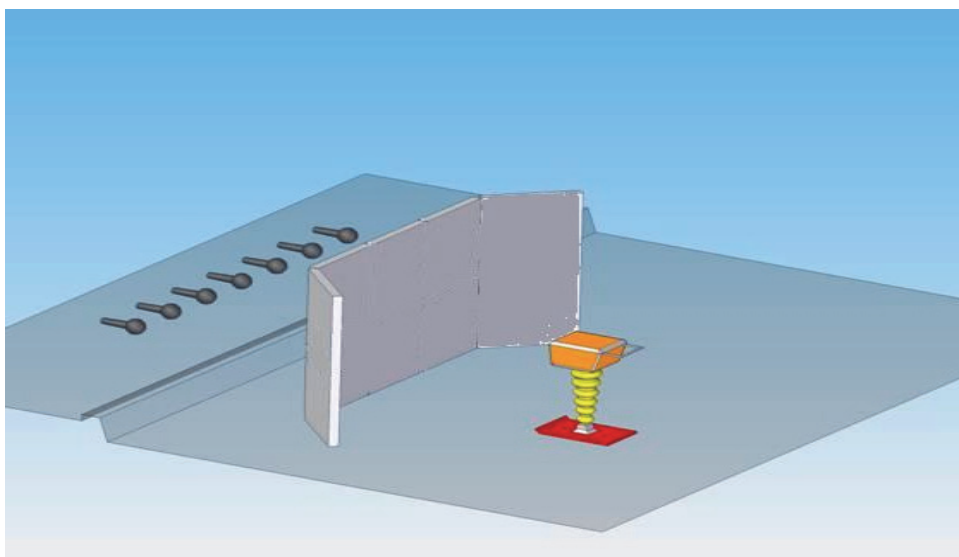
Rys. 3.14b.



Rys. 3.14c.

Rys. 3.14. Model ekranu V: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 3.15a.



Rys. 3.15b.



Rys. 3.15c.

Rys. 3.15. Model ekranu VI: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu

Źródło: opracowanie własne.

Modele ekranów I, II, III, IV i V posiadały wysokość 1 m, model ekranu VI posiadał wysokość 1,5 m.

Modele ekranów zbudowane były na bazie konstrukcji ze stalowych, lekkich perforowanych kątowników 40 mm x 40 mm x 2 mm. Modele ekranów opierały się na dwóch obrotowych, możliwych do demontażu, nogach o długości 0,47 m. Zadbano aby dolne krawędzie modeli ekranów przylegały do podłoża. Materiały, które zastosowano na budowę modeli ekranów powinny spełniać następujące warunki:

- materiały powinny być lekkie (ekrany mają być przenośne),
- materiały powinny posiadać dobre właściwości akustyczne,
- materiały powinny być odporne na zmienne warunki atmosferyczne.

Budując modele ekranów do realizacji projektu wybrano materiały, wśród których znalazły się również niespełniające wszystkich powyższych warunków. Zdecydowały o tym między innymi takie cele badawcze projektu:

- wpływ ciężaru modelu na Insertion Loss ekranu,
- wpływ izolacyjności właściwej R_w materiału na Insertion Loss ekranu.

W założeniach projektu było zbadanie modeli ekranów wykonanych z trzech rodzajów materiałów. Przeprowadzono badania modeli wykonanych z czterech rodzajów materiałów, dokładając filc akustyczny, z którego wykonane były modele ekranów badane w warunkach laboratoryjnych. Materiał ten był w posiadaniu Katedry. Pozwoli to w przyszłości przeprowadzić badania porównawcze skuteczności ekranowania w warunkach przestrzeni otwartej i pomieszczenia. Wprowadzenie dodatkowego materiału do prowadzonych badań na otwartej przestrzeni ułatwiło sformułowanie wniosków (większa liczba pomiarów itd.). Na podstawie przeprowadzonych wcześniej badań wykluczono stal jako materiał na modele ekranów.

Materiały zastosowane do budowy modeli ekranów:

- płyty dźwiękoizolacyjne PD2 o wymiarach 20 x 500 x 500 mm, średnia izolacyjność właściwa płyt $R_w = 30$ dB, materiał niepalny, odporny na zmienne warunki atmosferyczne,
- guma akustyczna (nazwa fabryczna folia) FD2 firmy „SEMAG” o grubości około 2 mm (w rolkach o szerokości 1,1 m) średnia izolacyjność właściwa $R_w = 25$ dB, materiał niepalny, odporny na zmienne warunki atmosferyczne,
- styropian – płyty o wymiarach 20 x 500 x 500 mm, średnia izolacyjność właściwa $R_w = 27$ dB, materiał odporny na zmienne warunki atmosferyczne, materiał łatwopalny,
- filc akustyczny – o grubości około 17 mm (w rolkach o szerokości 1,7 m), średnia izolacyjność właściwa $R_w = 26$ dB, materiał nieodporny na zmienne warunki atmosferyczne.

W czasie badań sprawdzono jaki wpływ na skuteczność ekranowania modeli ekranu z filcu akustycznego ma zabezpieczenie modelu przed deszczem cienką folią budowlaną.

Obecnie w Łodzi prowadzona jest modernizacja sieci wodno-kanalizacyjnej. Związane jest to z wykonaniem co 300 m wykopów ziemnych przy użyciu maszyn roboczych do prac ziemnych. Wykopy zabezpieczane są segmentami ze stalowej siatki, które w dalszych badaniach mogą być wykorzystane jako podstawa kotar lub ekranów akustycznych.

3.4. Koszty wykonania modeli ekranów

Modele ekranów zostały wykonane przy współpracy z warsztatem Katedry Dynamiki Maszyn Politechniki Łódzkiej. Koszty materiałów użytych do budowy modeli ekranów, z wyjątkiem folii budowlanej (12 zł), nie obciążyły realizowanego projektu, zostały pokryte z funduszy na badania własne.

Poniżej przedstawiono koszty wykonania przykładowych modeli ekranów.

- Prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m, wykonany z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm, „ekran I”.

- Koszty materiałowe:

1. Stalowy kątownik perforowany 40 x 40 x 2 mm. Kątownik sprzedawany jest w sztangach o długości 3 m w cenie 11 zł/mb. Na konstrukcję i nogi potrzeba – 6 m, zużyto 2 sztangi, koszt kątowników – 66 zł
2. Płyty PD2 o grubości 20 mm – cena m² wynosi 60 zł, zużyto 1,5 m², koszt płyt – 90 zł
3. Drobne materiały pomocnicze (śruby, taśmy) – około 3 zł

Razem koszt materiałów – 159 zł

- Koszty robocizny:

Na wykonania modelu ekranu potrzeba było 5 godz. Pracę wykonał pracownik, którego stawka godzinowa wynosiła wraz z narzutami 20 zł. *Koszt robocizny wynosił 100 zł.*

Koszt wykonania modelu ekranu I wynosił około 259 zł

- Prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m z odchylanym bocznym skrzydłem o wymiarach 0,5 m x 1 m, wykonany z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm, „ekran II”.

- Koszty materiałowe:

1. Stalowy kątownik perforowany 40 x 40 x 2 mm. Kątownik sprzedawany jest w sztangach o długości 3 m w cenie 11 zł/mb. Na konstrukcję i nogi potrzeba – 8 m, zużyto 3 sztangi, koszt kątowników – 99 zł
2. Płyty PD2 o grubości 20 mm – cena m² wynosi 60 zł, zużyto 2 m², koszt płyt – 120 zł
3. Drobne materiały pomocnicze (śruby, taśmy) – około 3 zł

Razem koszt materiałów – 222 zł

- Koszty robocizny:

Na wykonanie modelu ekranu potrzeba było 6 godz. Pracę wykonał pracownik, którego stawka godzinowa wynosiła wraz z narzutami 20 zł. *Koszt robocizny wynosił 120 zł*

Koszt wykonania modelu ekranu II wynosił około 342 zł

- Dwuwarstwowy, prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1,5 m, wykonany z filcu akustycznego o grubości 17 mm oraz gumy akustycznej o grubości 2 mm, ekran posiadał dwa odchylane skrzydła o wymiarach 1,5 m x 0,5 m, „ekran VI”.

- Koszty materiałowe:

1. Stalowy kątownik perforowany 40 x 40 x 2mm. Kątownik sprzedawany jest w sztangach o długości 3 m w cenie 11 zł/mb. Na konstrukcję i nogi potrzeba – 12 m, zużyto 4 sztangi, koszt kątowników – 132 zł
2. Guma akustyczna (folia FD2) sprzedawana jest w rolkach o szerokości 1,1 m i długości 10 m. Cena 1 m² wynosi około 34,5 zł, zużyto 2,5 m², koszt folii – 86,2 zł

3. Filc akustyczny sprzedawany jest w rolkach o wysokości 1,6 m i długości wg potrzeb, zużyto $2,5 \text{ m}^2$, koszt filcu około 60 zł

4. Drobne materiały pomocnicze (śruby, taśmy) – około 5 zł

Razem koszt materiałów wynosił 283,2 zł

○ Koszty robocizny:

Na wykonanie modelu ekranu potrzeba było 8 godz. Pracę wykonał pracownik, którego stawka godzinowa wynosiła wraz z narzutami 20 zł. *Koszt robocizny wynosił 160 zł*

Koszt wykonania modelu ekranu VI wynosił około 443 zł

Przedstawione koszty wykonania modeli ekranów dotyczą wykonania prototypowego, dlatego też są one stosunkowo wysokie.

3.5. Prezentacja wyników pomiarów

Wyniki pomiarów przedstawiono w postaci wykresów, które zamieszczone są w załączniku. Na podstawie pomiarów wykonano ponad dwieście wykresów, które zgrupowano w następujące bloki:

1. Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez piłę A w funkcji częstotliwości (rys. 1-9),

2. Wykresy maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A w funkcji częstotliwości (rys. 10-18),

3. Wykresy równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu w czasie pracy piły A w ośmiu punktach pomiarowych (rys. 19-20),

4. Wykres równoważnego poziomu hałasu w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu II w funkcji częstotliwości (rys. 21-29),

5. Wykresy maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II w funkcji częstotliwości (rys. 30-38),

6. Wykresy obrazujące obniżenie równoważnego hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu II (rys. 39-47),

7. Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu II (rys. 48-58),

8. Wykresy obrazujące obniżenie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu II (rys. 57-60),

9. Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu III w funkcji częstotliwości (rys. 61-69),

10. Wykresy maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu III w funkcji częstotliwości (rys. 70-78),

11. Wykresy obrazujące obniżenie hałasu równoważnego emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu III (rys. 79-87),

12. Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu III (rys. 88-96),

13. Wykresy obrazujące obniżenie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu III (rys. 97-100),

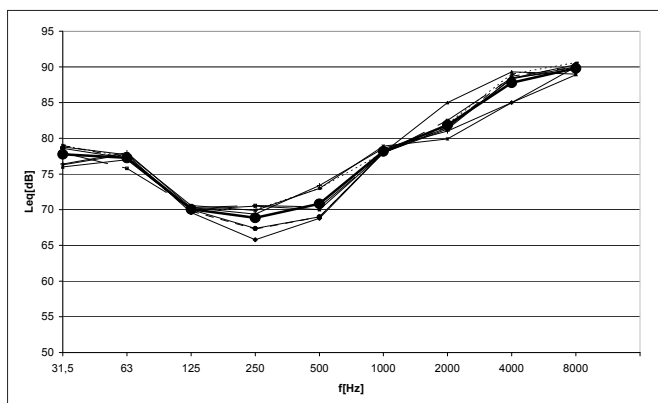
14. Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranów I-VI (rys. 101-107),
15. Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę C (rys. 108-111),
16. Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę C z zastosowaniem ekranów: II, III, V i VI (rys. 112-135),
17. Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę B bez i z zastosowaniem ekranów: II, III, V i VI (rys. 136-153),
18. Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez młot bez i z zastosowaniem ekranów: II, III, V i VI (rys. 154-171),
19. Wykresy poziomu hałasu w czasie pracy zagęszczarki poziomej bez ekranów i z ekranami (rys. 172-179),
20. Wykresy poziomu hałasu w czasie pracy zagęszczarki pionowej bez ekranów i z ekranami (rys. 180-187),
21. Wykresy określające zmiany poziomu hałasu w zależności od odległości mikrofonu od maszyny (rys. 188-193),
22. Przykłady przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu przez badane maszyny (rys. 194).

4. Analiza przeprowadzonych badań doświadczalnych

4.1. Charakterystyka poziomu hałasu emitowanego przez badane maszyny w funkcji częstotliwości

Pomiary poziomu hałasu maszyn były przeprowadzane w warunkach rzeczywistych w czasie prac remontowych na ulicach Łodzi. Dlatego też nie można było przeprowadzić pełnej analizy hałasu dla wszystkich maszyn. Zależne było to od możliwości udostępnienia maszyn na dłuższy okres czasu. Takie pomiary wykonano dla piły A, piły B i piły C. Zmierzony został poziom hałasu w ośmiu punktach pomiarowych dla częstotliwości 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 i 8000 Hz. Pomiary powtórzone wielokrotnie. Wyniki przedstawiono na wykresach, które znajdują się w załącznikach.

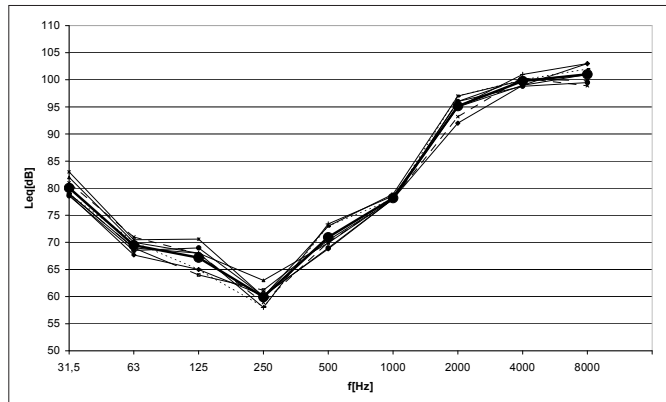
W przypadku wszystkich badanych maszyn obserwujemy niskie poziomy hałasu w zakresie częstotliwości 125-500 Hz, najwyższe dla 4000-8000 Hz. Poziomy te wynoszą, np.: piła A 125-500 Hz około 70 dB, 4-8 kHz około 90 dB (rys. 4.1), piła C 125-500 Hz 65-70 dB, 4-8 kHz 95-100 dB (rys. 4.2).



Rys. 4.1. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów pomiarowych, emitowany w czasie pracy piły A

Źródło: opracowanie własne.

Również w przypadku zarejestrowanych maksymalnych poziomów dźwięku powstających podczas pracy ww. maszyn obserwujemy podobny przebieg poziomu hałasu w funkcji częstotliwości. Maksymalne poziomy hałasu wynoszą, np.: piła A 125-500 Hz 75-80 dB, 4-8 kHz 95 dB (rys. 1-18 w załączniku), piła B 125-500 Hz 65-70 dB, 4-8 kHz około 105 dB (rys. 109 w załączniku).

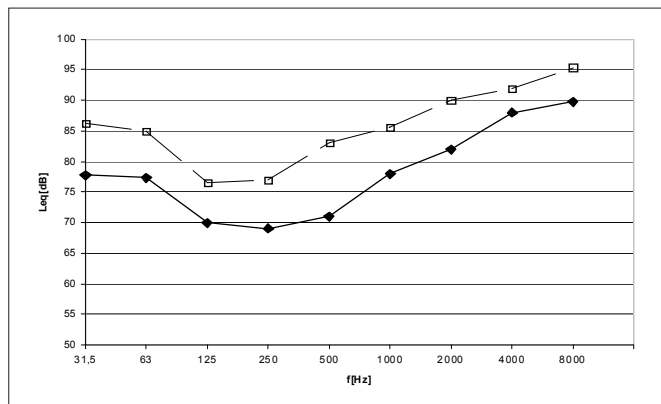


Rys. 4.2. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów pomiarowych, emitowany w czasie pracy piły C

Źródło: opracowanie własne.

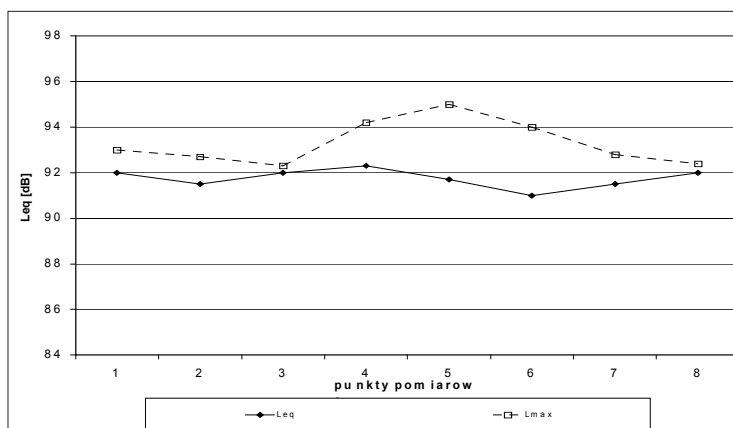
4.2. Porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu maszyn

W czasie badań przeprowadzono porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu powstającego podczas pracy maszyn. Poziom maksymalny może być związany z incydentalnymi sytuacjami wokół pracującej maszyny. Zwrócono szczególną uwagę na takie sytuacje, które starano się wyeliminować. Każdemu pomiarowi towarzyszył pomiar tła akustycznego. Pomiary wykonywano, gdy poziom tła był znacząco niższy od hałasu maszyny. Różnice pomiędzy równoważnym poziomem hałasu (L_{Aeq}) i maksymalnym poziomem (L_{max}) były różne dla poszczególnych maszyn. Wynika to z charakteru pracy maszyn. Zaobserwowano również wpływ rodzaju obrabianego materiału na poziom L_{Aeq} , a szczególnie na poziom L_{max} . Ilustrują to rys. 4.3 i 4.4. Dla piły A różnice między tymi poziomami wynoszą 5-7 dB, dla młota – 0,5-3 dB.



Rys. 4.3. Porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A

Źródło: opracowanie własne.

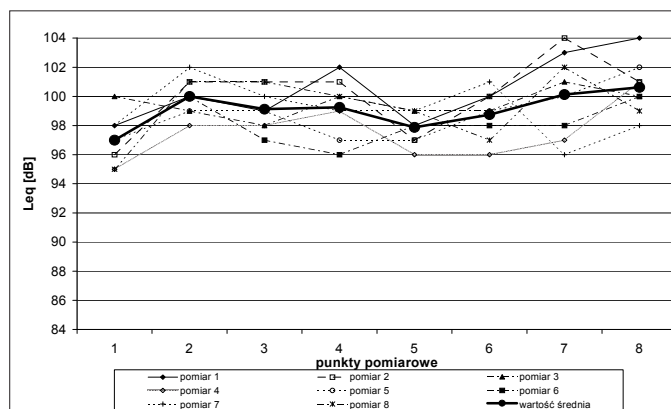


Rys. 4.4. Porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy młota w punktach pomiarowych 1-8

Źródło: opracowanie własne.

4.3. Wpływ położenia punktu pomiarowego na zmierzony poziom hałasu maszyn

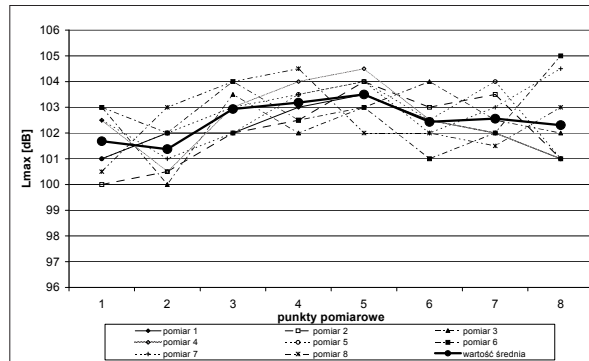
Położenie punktów pomiarowych zostało omówione w rozdziale 3.



Rys. 4.5. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły C

Źródło: opracowanie własne.

Mała odległość pomiędzy punktami (skrajne punkty były oddalone od siebie o 1,5 m) powodowała, że nie zaobserwowano istotnego wpływu położenia punktów pomiarowych na zmierzony poziom hałasu. Było tak w przypadku wszystkich maszyn, jak i obydwu zmierzonych poziomów hałasu L_{Aeq} i L_{max} , ilustrują to rys. 4.5 i 4.6. Analizowany był również wpływ położenia punktów pomiarowych na zmierzony poziom hałasu maszyn po zastosowaniu modeli ekranów (p. 4.6.3).

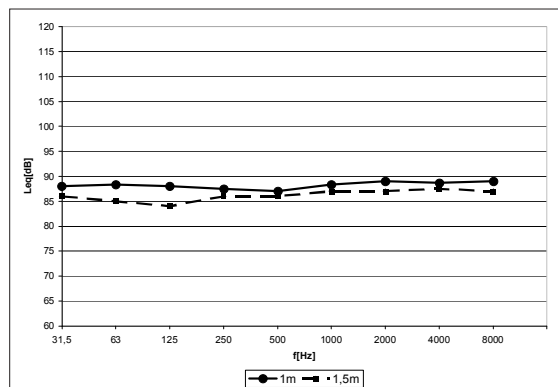


Rys. 4.6. Maksymalny poziom hałasu w czasie pracy piły B

Źródło: opracowanie własne.

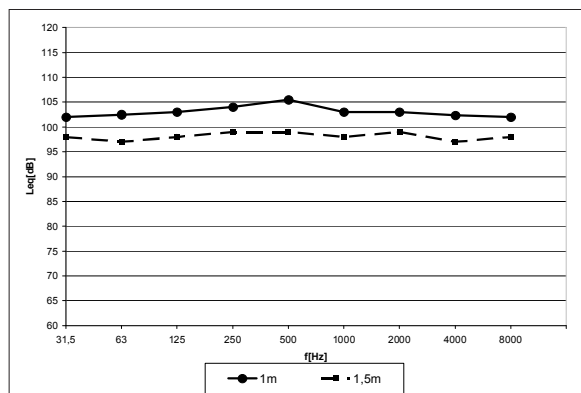
4.4. Wpływ odległości punktu pomiarowego od maszyny na zmierzony poziom hałasu

Odległość punktów pomiarowych od maszyny uwarunkowana była miejscem pracy maszyny i możliwością ustawienia modelu ekranu akustycznego. Pomiary poziomu hałasu powstającego w czasie pracy maszyn wykonano w ośmiu punktach pomiarowych w odległości 2 m od maszyny. Punkty pomiarowe zostały wybrane równoległe do linii, ustawianych w drugim etapie pomiarów, modeli ekranów, prostopadłe do nich. Jeżeli warunki pracy maszyny na to pozwalały oraz jeżeli model ekranu można było ustawiać w odległości 0,5 m od maszyny, pomiary wykonywano w odległości 1 m i 1,5 m od maszyny. Udało się to tylko w nielicznych przypadkach, dla piły B i równiarki poziomej. Sprawdzono jak na zmierzony poziom hałasu maszyny wpływa różnica 0,5 m odległości od maszyny. Okazało się, że różnice w wielkości hałasu są różne dla obu badanych maszyn: piła B – poziom hałasu w odległości 1,5 m jest niższy o 5-8 dB (rys. 4.7), równiarka pozioma – poziom hałasu w odległości 1,5 m jest niższy o 2-4 dB (rys. 4.8).



Rys. 4.7. Porównanie pomiarów, w odległości 1 m i 1,5 m od maszyny, równoważnego poziomu hałasu emitowanego podczas pracy piły B do betonu

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.8. Porównanie pomiarów, w odległości 1 m i 1,5 m od maszyny, równoważnego poziomu hałasu emitowanego podczas zagęszczarki poziomej

Źródło: opracowanie własne.

4.5. Przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu przez badane maszyny

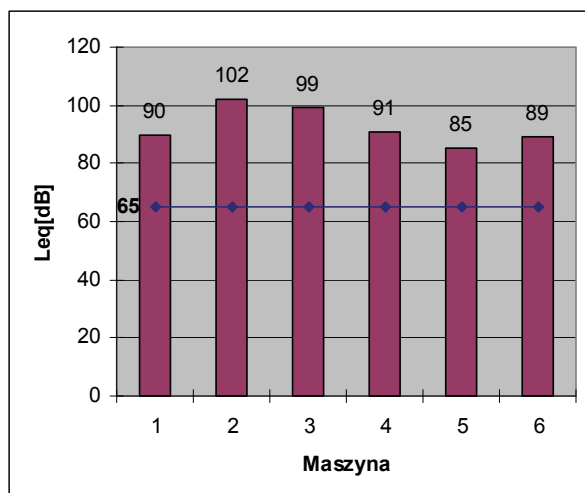
Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 czerwca 2007 roku w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku określa m.in. zróżnicowane dopuszczalne poziomy hałasu określone wskaźnikami hałasu dla pory dziennej L_{AeqD} oraz pory nocnej L_{AeqN} w dB, długookresowy średni poziom dźwięku L_{DWN} i L_N dla różnych rodzajów terenu. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 kwietnia 2008 roku w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących rejestru zawierającego informacje o stanie akustycznym środowiska określa rodzaje wyników pomiarów, badań i analiz hałasu podlegających rejestracji oraz formę tej rejestracji. W rozporządzeniu tym nie poruszona jest kwestia rejestracji hałasu występującego okresowo w miastach w czasie prac ziemnym na ulicach, wykonywanych przez małe maszyny do prac ziemnych.

Zgodnie z tabelą 1.2 (rozdział 1) dopuszczalny poziom hałasu dla dróg i linii kolejowych na terenach w strefie śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców wynosi **65 dB**.

Wyniki przeprowadzonych pomiarów wskazują na znaczne przekroczenia tej wartości.

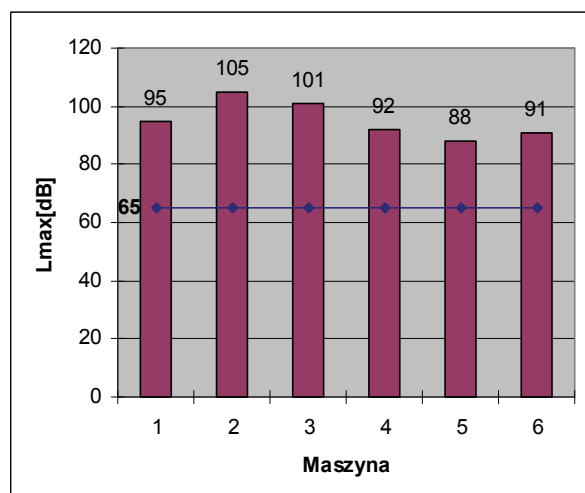
Należy zaznaczyć, że wartość 65 dB dotyczy L_{AeqD} , tj. równoważnego poziomu hałasu w przedziale czasu odniesienia równym 16 h pory dziennej. Badane maszyny nie pracują w takim czasie, jednak w przypadku prac remontowych długofalowych, hałas pracujących maszyn nie można uznać za krótkookresowy czy incydentalny.

Na rys. 4.9 i 4.10 przedstawiono przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu w środowisku przez badane maszyny.



Rys. 4.9. Porównanie poziomów równoważnych hałasu zmierzonego w czasie pracy maszyn z poziomem dopuszczalnym wg Rozporządzenia Ministra Środowiska
1 – piła A, 2 – piła B, 3 – piła C, 4 – młot, 5 – zagęszczarki pozioma,
6 – zagęszczarka pionowa

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.10. Porównanie poziomów maksymalnych hałasu zmierzonego w czasie pracy maszyn z poziomem dopuszczalnym wg Rozporządzenia Ministra Środowiska
1 – piła A, 2 – piła B, 3 – piła C, 4 – młot, 5 – zagęszczarki pozioma,
6 – zagęszczarka pionowa

Źródło: opracowanie własne.

Przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu przez badane maszyny wynoszą:

$$L_{Aeq} - 20-37 \text{ dB}$$

$$L_{max} - 23-40 \text{ dB}.$$

Nawet uwzględniając fakt, że maszyny pracują z przerwami, tak znaczne przekroczenia poziomów dopuszczalnych wskazują na konieczność stosowania zabezpieczeń. Tak duże przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu powodują, że wskaźnik emisji M przy dużej liczbie użytkowników chodnika osiąga wysokie wartości (wzór 1.4 rozdz. 1).

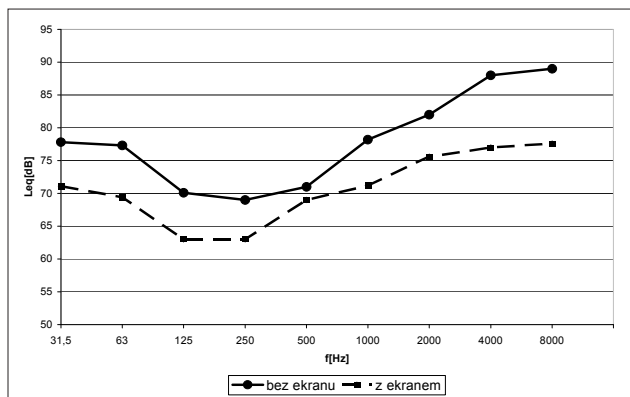
Parlament Europejski i Rada UE, 8 maja 2000 roku w Brukseli przyjęły Dyrektywę nr 2000/14/WE dotyczącą hałasu emitowanego przez maszyny używane na zewnątrz budynków, którą rząd polski przyjął Ustawą z dnia 30 sierpnia 2002 roku. Zgodnie z tą dyrektywą maszyny pracujące na otwartej przestrzeni powinny mieć oznakowany poziom mocy akustycznej oraz nie przekraczać określonych w dyrektywie progów poziomu hałasu. Dyrektywa ta została zmieniona 14 grudnia 2005 roku przez Dyrektywę 2005/88/WE, zmieniono termin stosowania progów poziomu hałasu.

Wszystkie badane w projekcie maszyny powinny zatem posiadać ww. oznaczenia. Dwie spośród maszyn nie posiadały takiego oznaczenia. Wyniki przeprowadzonych pomiarów wskazują, że oznaczenie poziomu mocy akustycznej nie gwarantuje emisji dopuszczalnego poziomu hałasu przez maszyny, które pracują w terenie i kształtują różnego rodzaju materiały.

4.6. Przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu przez badane maszyny

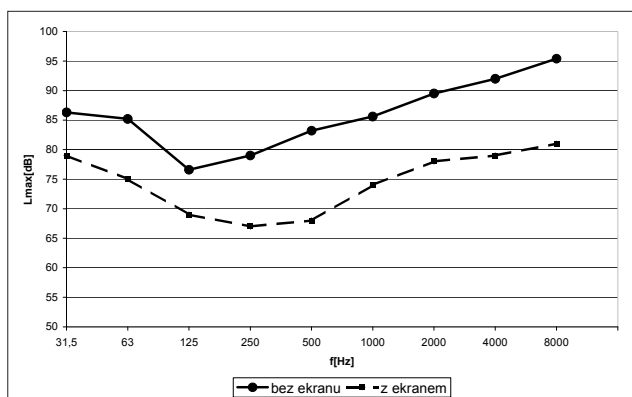
4.6.1. Efektywność akustyczna modeli ekranów w funkcji częstotliwości

Jak podano w p. 4.1 w przypadku wszystkich badanych maszyn zaobserwowano niskie poziomy hałasu w zakresie częstotliwości 125-500 Hz, a wysokie dla 4000-8000 Hz. Po zastosowaniu modeli ekranów charakter przebiegu funkcji $L_{Aeq} - f$ nie uległ zmianie zarówno dla poziomu równoważnego, jak i maksymalnego.



Rys. 4.11. Uśredniony, dla punktów 1-8, poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez ekranu i z ekranem II

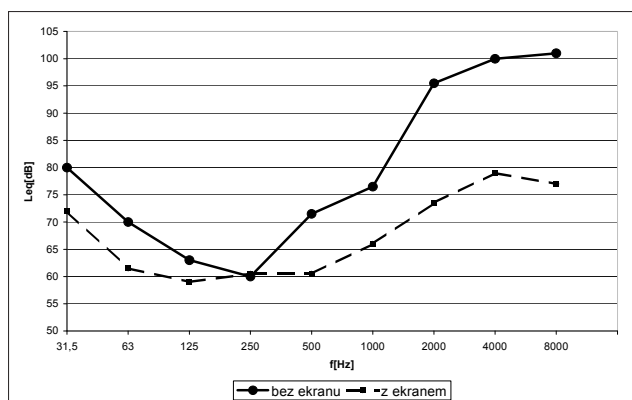
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.12. Uśredniony, dla punktów 1-8, maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez ekranu i z ekranem II

Źródło: opracowanie własne.

Zmienne są natomiast wielkości obniżenia poziomu hałasu dla różnych zakresów częstotliwości. W zakresie 125-500 Hz obniżenie poziomu hałasu L_{Aeq} wynosi od 0 do 7 dB, w zakresie 4000-8000 Hz wynosi od 10 do 20 dB w zależności od modelu ekranu i rodzaju maszyny (rys. 4.11, 4.13). W zakresie 125-500 Hz obniżenie poziomu hałasu L_{max} wynosi od 5 do 10 dB, w zakresie 4000-8000 Hz wynosi od 10 do 15 dB w zależności od modelu ekranu i rodzaju maszyny (rys. 4.12).



Rys. 4.13. Uśredniony, dla wszystkich punktów, poziom hałasu emitowanego przez piłę C bez ekranu i z ekranem III

Źródło: opracowanie własne.

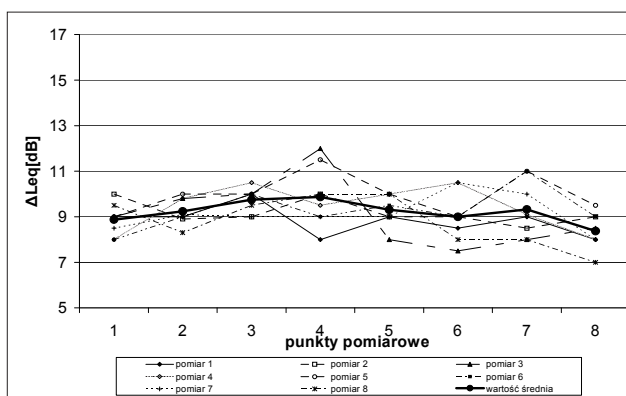
4.6.2. Ocena skuteczności modeli osłon na przykładzie piły A

Do przeprowadzenia badań zbudowano sześć modeli ekranów akustycznych. Były to cztery modele ekranów jednowarstwowych:

- Ekran I – prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m, z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm,
- Ekran II – prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m z odchylanym bocznym skrzydłem o wymiarach 0,5 m x 1 m, z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm,
- Ekran III – prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m, z filcu akustycznego o grubości 17 mm, ekran posiadał dwa odchylane skrzydła o wymiarach 0,5 m x 1 m,
- Ekran IV – w kształcie otwartego z jednego boku prostopadłościanu o wysokości 1 m i szerokości 1,5 m, z filcu akustycznego o grubości 17 mm oraz gumy o grubości 2 mm, oraz dwa modele ekranów dwuwarstwowych:
- Ekran V – prostokątny ekran o wymiarach 1,5 m x 1 m z odchylanym bocznym skrzydłem o wymiarach 0,5 m x 1 m, z płyt dźwiękoizolacyjnych PD2 o grubości 20 mm i styropianu o grubości 10 mm,
- Ekran VI – prostokątny ekran o wymiarach 15 m x 1,5 m, z filcu akustycznego, o grubości 17 mm oraz gumy akustycznej o grubości 2 mm, ekran posiadał dwa odchylane skrzydła o wymiarach 1,5 m x 0,5 m.

Skuteczność wymienionych modeli ekranów sprawdzono wstępnie podczas pracy piły A. Przeprowadzono analizę równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu w funkcji częstotliwości z zastosowaniem wszystkich modeli ekranów. Wielkość obniżenia poziomu hałasu i charakter przebiegu wykresów tego obniżenia pozwolił na wybór najskuteczniejszych modeli do dalszych badań na pozostałych maszynach.

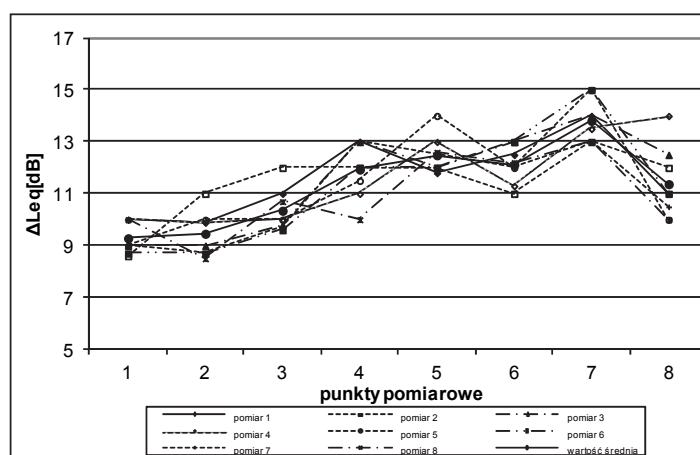
Ekran I – średnie obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A wynosi około 9 dB, wartości obniżenia w punktach 1-8 są zbliżone (rys. 4.14).



Rys. 4.14. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem I

Źródło: opracowanie własne.

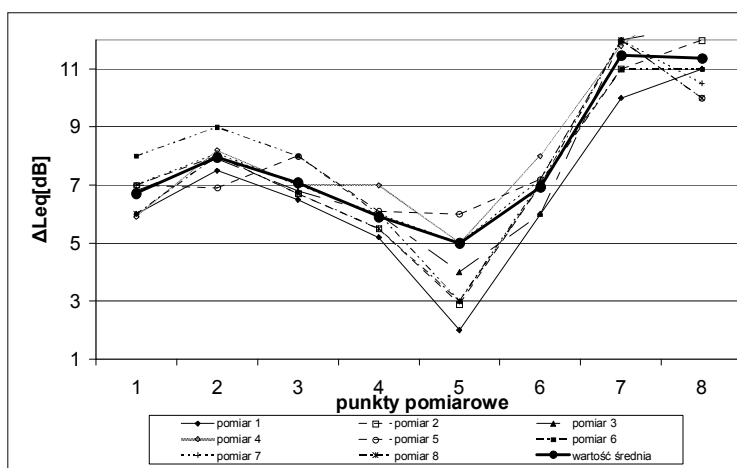
Ekran II – średnie obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A wynosi od 9 do 14 dB, wielkości obniżenia w punktach 1-8 zmienne, obserwujemy zwiększoną skuteczność po stronie skrzydła (rys. 4.15).



Rys. 4.15. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II

Źródło: opracowanie własne.

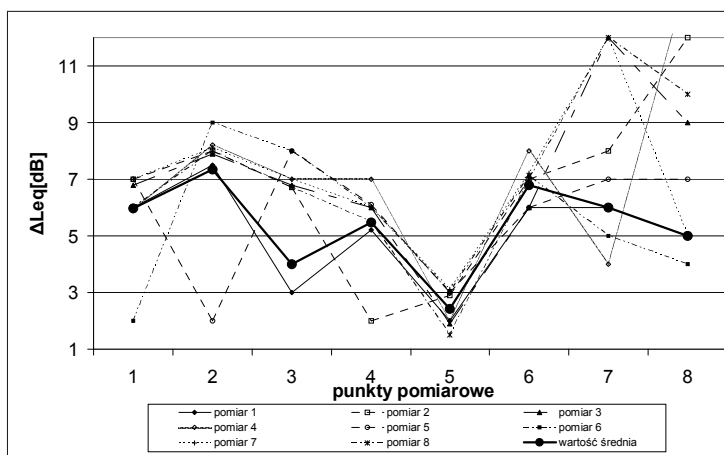
Ekran III – średnie obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A wynosi od 5 do 12 dB, wielkość obniżenia w punktach 1-8 bardzo zróżnicowana. Niska skuteczność ekranowania w środkowej części ekranu, skrzydła prawdopodobnie podnoszą wartość obniżenia hałasu w punktach skrajnych (rys. 4.16).



Rys. 4.16. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu III

Źródło: opracowanie własne.

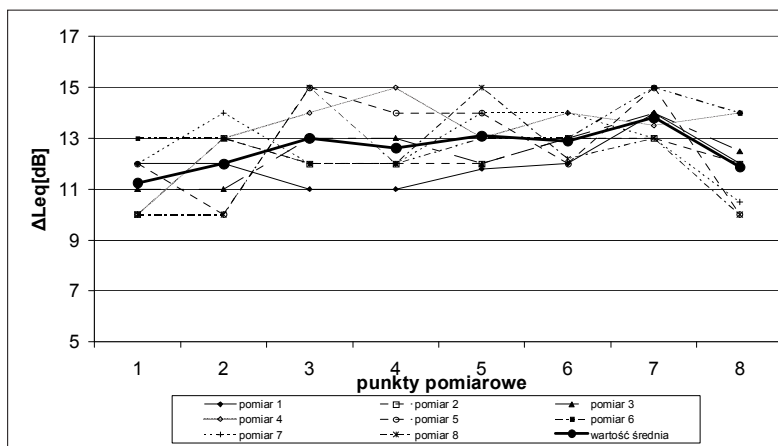
Ekran IV – średnie obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A wynosi od 2 do 6 dB, wielkość obniżenia w punktach 1-8 bardzo zróżnicowana. Niska skuteczność ekranowania we wszystkich punktach pomiarowych (rys. 4.17).



Rys. 4.17. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem IV

Źródło: opracowanie własne.

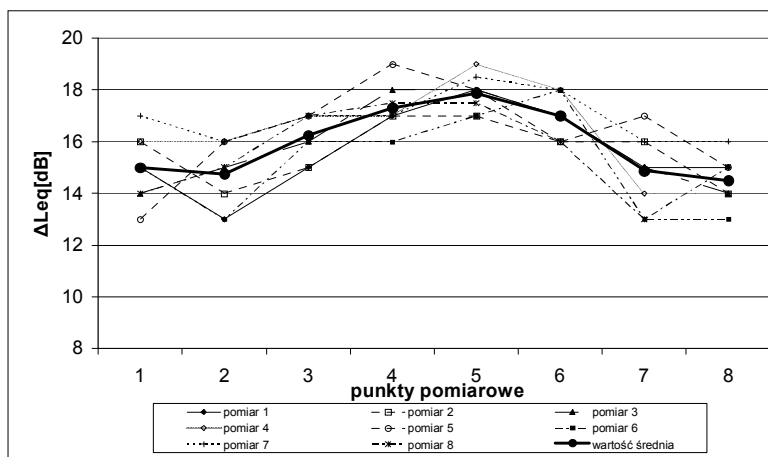
Ekran V – średnie obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A wynosi od 11 do 14 dB, wartości obniżenia w punktach 1-8 są zbliżone. Dobra skuteczność ekranowania we wszystkich punktach pomiarowych (rys. 4.18).



Rys. 4.18. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu V

Źródło: opracowanie własne.

Ekran VI – średnie obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A wynosi od 14 do 18 dB, wielkość obniżenia w punktach 1-8 jest zmienna, wysoka skuteczność ekranowania w środkowych punktach pomiarowych. Model ekranu VI jest ekranem dwuwarstwowym i wyższym od pozostałych modeli o 0,5 m; to prawdopodobnie zdecydowało o jego wysokiej skuteczności (rys. 4.19).



Rys. 4.19. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego

Źródło: opracowanie własne.

Powyższe wnioski dotyczące obniżenia równoważnego poziomu hałasu potwierdzone zostały w przypadku obniżenia poziomu hałasu maksymalnego.

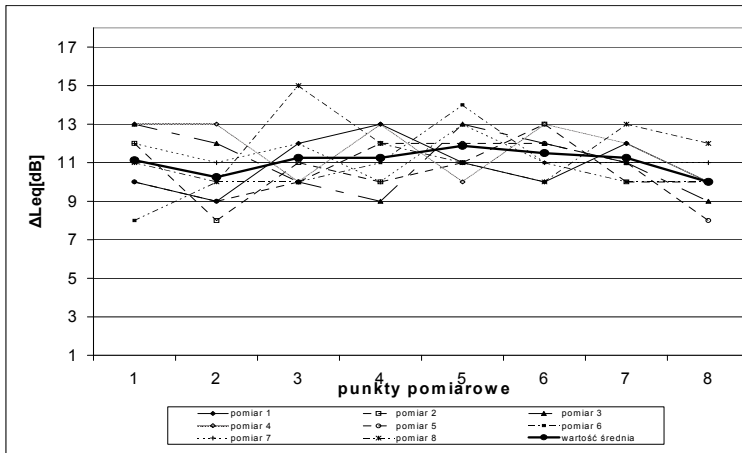
Po przeanalizowaniu skuteczności zastosowania modeli ekranów na piłę A, do dalszych badań wybrano modele ekranów II, III, V i VI. Stwierdzono, że model ekranu IV typu „buda” nie kwalifikuje się do ochrony małych maszyn. Odrzucono również model ekranu I z uwagi na niską skuteczność oraz fakt, że model ekranu II wykonany jest z tego samego materiału co I, posiada on jednak dodatkowe skrzydło, które podnosi jego skuteczność.

4.6.3. Efektywność akustyczna wybranych modeli ekranów

Modele ekranów, wybrane na podstawie badań efektywności ekranowania podczas pracy piły A, zastosowano przy pozostałych maszynach. Zweryfikowane zostały wnioski sformułowane na podstawie pracy piły A.

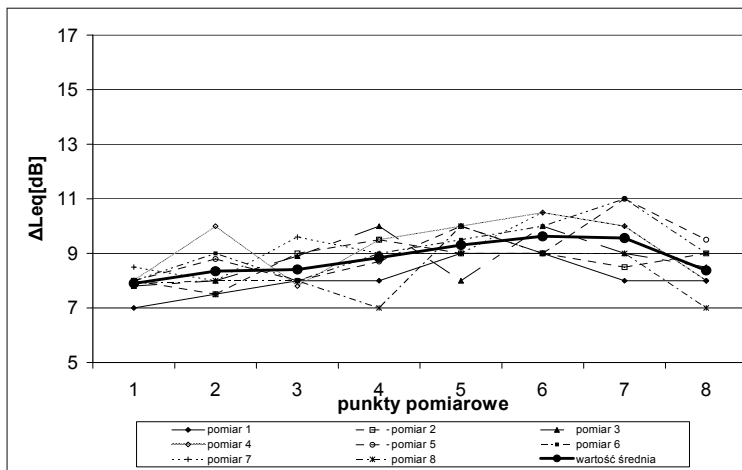
1. Model ekranu II

Efektywność akustyczna tego modelu różna jest dla poszczególnych maszyn. Wynika to z różnic w poziomie emitowanego hałasu przez maszyny. Średnia wartość obniżenia poziomu hałasu wynosi 11 dB (rys. 4.20), z wyjątkiem równiarki poziomej, której model obniża hałas o 7-9 dB (rys. 4.21). Nie obserwuje się istotnych różnic pomiędzy ΔL_{Aeq} w punktach pomiarowych skrajnych i środkowych.



Rys. 4.20. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II pionowego

Źródło: opracowanie własne.

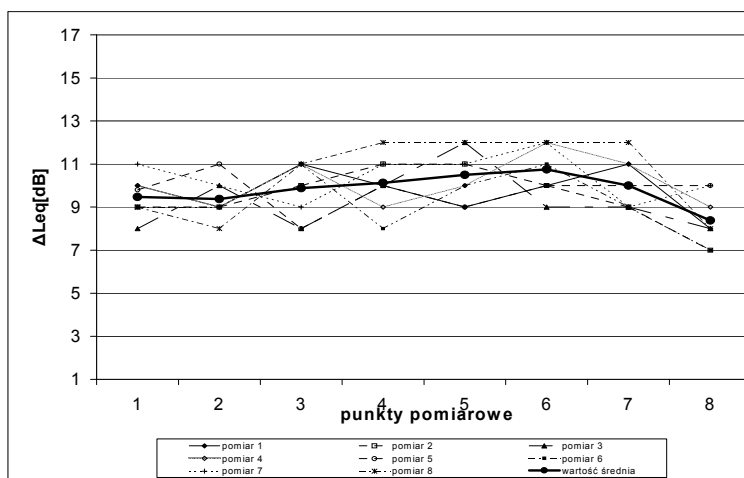


Rys. 4.21. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem II

Źródło: opracowanie własne.

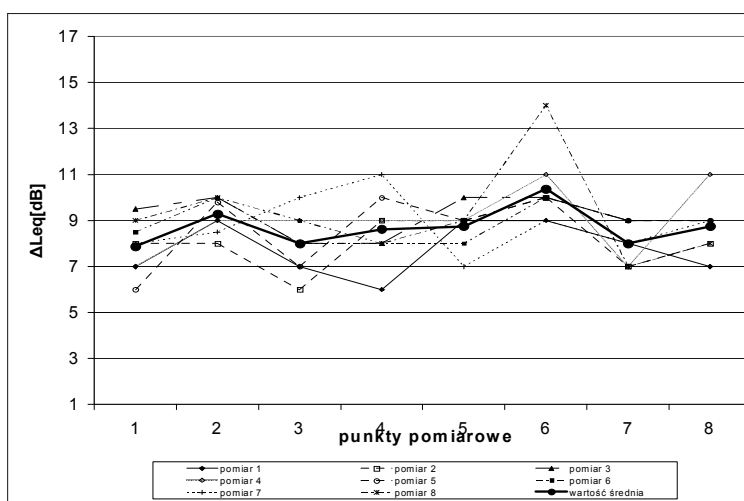
2. Model ekranu III

Efektywność akustyczna tego modelu ekranu w przypadku pozostałych maszyn różni się od efektu, jaki otrzymano przy pracy piły A. Nie zaobserwowano istotnych różnic pomiędzy obniżeniem poziomu hałasu w punktach pomiarowych (jak przy piły A). Średnia wartość obniżenia poziomu hałasu wynosi od 8 do 10 dB (rys. 4.22-4.23). Nie obserwuje się istotnych różnic pomiędzy ΔL_{Aeq} w punktach pomiarowych skrajnych i środkowych.



Rys. 4.22. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu III pionowego

Źródło: opracowanie własne.



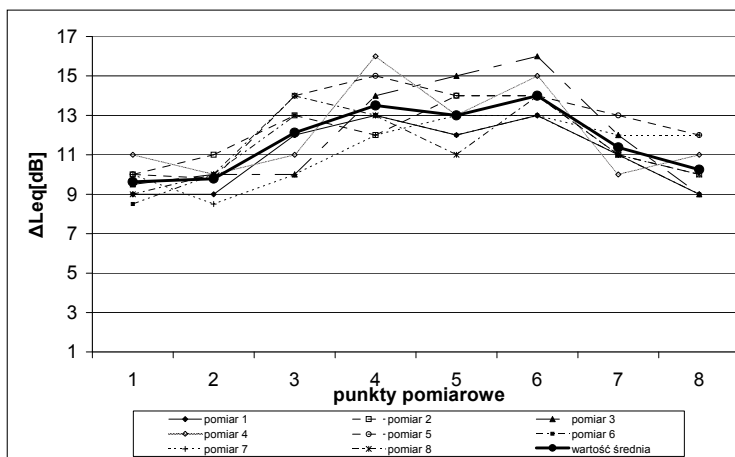
Rys. 4.23. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem III

Źródło: opracowanie własne.

3. Model ekranu V

Efektywność akustyczna tego modelu ekranu w przypadku pozostałych maszyn nie różni się od efektu, jaki otrzymano podczas badań przy pracy piły A. Zaobserwowano różnice pomiędzy obniżeniem poziomu hałasu w punktach pomiarowych. Różnice pomiędzy ΔL_{Aeq} w punktach pomiarowych skrajnych i środkowych wynoszą około 4 dB.

Średnia wartość obniżenia poziomu hałasu wynosi od 9 do 14 dB (rys. 4.24).

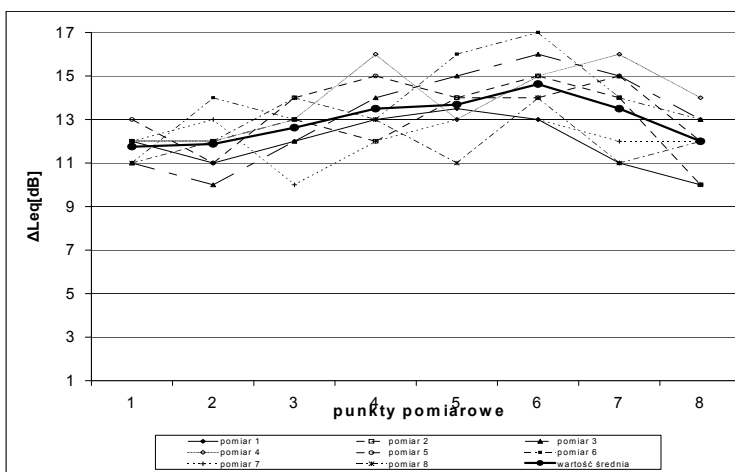


Rys. 4.24. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V pionowego

Źródło: opracowanie własne.

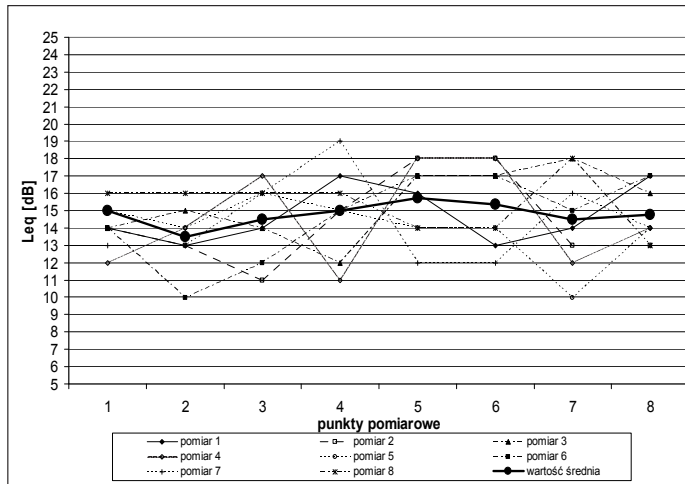
4. Model ekranu VI

Obniżenie poziomu równoważnego dźwięku A po zastosowaniu tego modelu ekranu jest wysokie dla wszystkich badanych maszyn, wynosi od 12 do 16,5 dB. Różnica wielkości obniżenia poziomu hałasu pomiędzy punktami skrajnymi i punktami środkowymi wynosi do 4 dB (rys. 4.25). W przypadku zagęszczarki pionowej zaobserwowano znaczne różnice pomiędzy wynikami pomiarów w poszczególnych seriach (rys. 4.26). Wpływ na ten wynik pomiaru miał materiał podłoża.



Rys. 4.25. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego

Źródło: opracowanie własne.

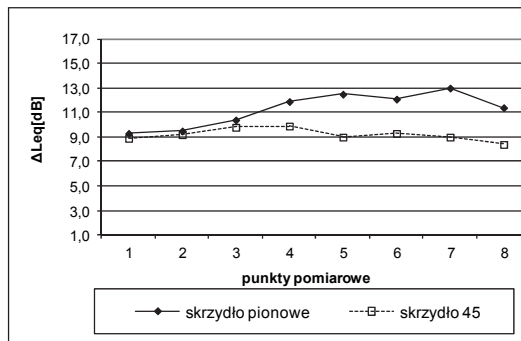


Rys. 4.26. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem VI

Źródło: opracowanie własne.

4.7. Analiza wpływu odchylenia skrzydeł modeli ekranów na ich efektywność akustyczną

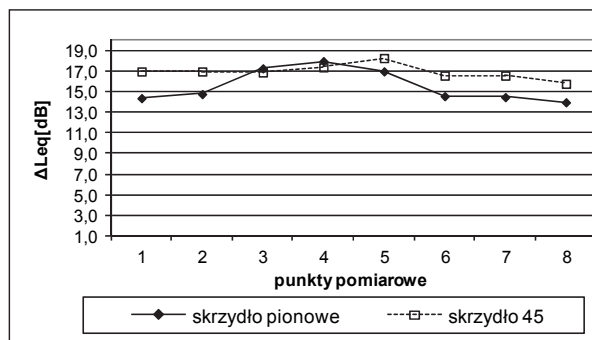
Wybrane modele ekranów posiadały uchylne boczne skrzydła. Modele ekranów II i V posiadały jedno skrzydło, modele ekranów III i VI posiadały dwa boczne skrzydła. Pomiary L_{Aeq} oraz L_{max} po zastosowaniu modeli ekranów wykonane zostały w dwu wersjach: skrzydła pionowe (skrzydła tworzą z ekranem wspólną płaszczyznę) oraz skrzydła odchylone od płaszczyzny ekranu o 45° . Pozwoliło to na ocenę wpływu kształtu ekranu na wielkość obniżenia poziomu hałasu. W przypadku równoważnego poziomu hałasu zaobserwowano niewielkie zwiększenie efektywności akustycznej dzięki odchyleniu skrzydeł, dla piły A z ekranem II zwiększenie IL o 2 dB po stronie skrzydła (rys. 4.27).



Rys. 4.27. Porównanie wpływu odchylenia skrzydeł ekranu II na obniżenie hałasu podczas pracy piły A

Źródło: opracowanie własne.

Dla piły B z ekranem III nastąpiło zwiększenie wartości IL o 2-3 dB po obydwu stronach skrzydeł. Dla piły z ekranem VI nastąpiło zwiększenie wartości IL o 2 dB po obydwu stronach skrzydeł (rys. 4.28).

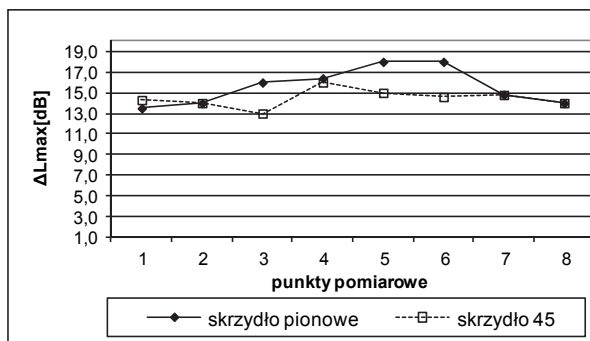


Rys. 4.28. Porównanie wpływu odchylenia skrzydeł ekranu VI na obniżenie hałasu podczas pracy piły C

Źródło: opracowanie własne.

Zjawiska tego nie zaobserwowano podczas pomiaru L_{max} . Dla wszystkich badanych maszyn nie występują różnice pomiędzy obniżeniem poziomu hałasu przy zastosowaniu modelu ekranu pionowego i z uchylonymi skrzydłami. W punktach pomiarowych środkowych w większości przypadków występuje większe obniżenie hałasu przy zastosowaniu pionowych modeli ekranów (rys. 4.29).

Biorąc pod uwagę niewielkie różnice pomiędzy skutecznością modeli ekranów pionowych i z uchylnymi skrzydłami, stwierdzono niewielki wpływ kształtu ekranu na jego efektywność akustyczną.

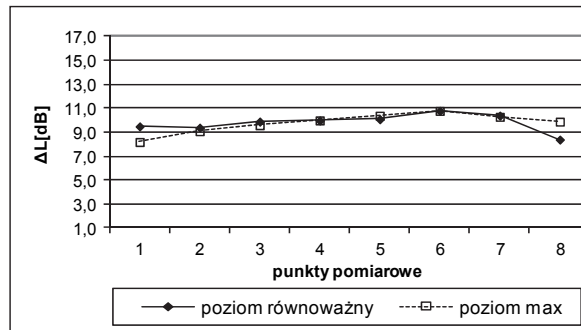


Rys. 4.29. Porównanie wpływu odchylenia skrzydeł ekranu VI na obniżenie maksymalnego hałasu podczas pracy piły C

Źródło: opracowanie własne.

4.8. Porównanie obniżenia równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu maszyn z zastosowaniem modeli ekranów

Dla wszystkich badanych maszyn wyznaczano równoważny poziom dźwięku A oraz poziom maksymalny. Pomiary dotyczyły pracujących maszyn bez zastosowania modeli ekranów oraz z kolejnymi modelami ekranów. Stwierdzono, że wielkość obniżenia poziomu hałasu była w obu przypadkach taka sama. Różnice wynosiły od 0 do 2 dB, co biorąc pod uwagę warunki przeprowadzania pomiarów, mieści się w granicach błędu pomiaru (rys. 4.30).



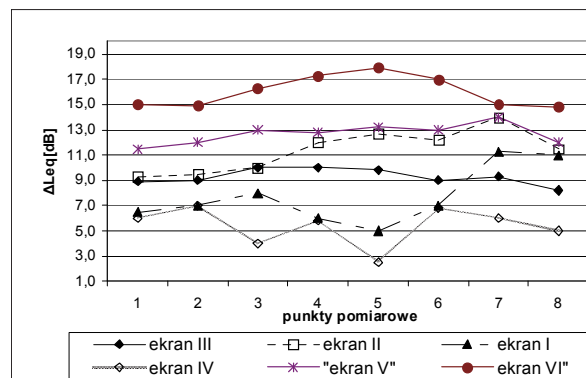
Rys. 4.30. Porównanie obniżenie poziomu hałasu ΔL_{eq} i poziomu ΔL_{max} podczas pracy młota z ekranem III pionowym

Źródło: opracowanie własne.

4.9. Porównanie efektywności ekranowania modeli ekranów

1. Piła A

Piła A była maszyną najdokładniej zbadaną (patrz załączniki). Tylko dla tej maszyny wykonano pomiary równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu z zastosowaniem wszystkich modeli ekranów. Na rys. 4.31 przedstawiono obniżenie poziomu hałasu powstającego w czasie pracy piły A z zastosowaniem wszystkich modeli ekranów.



Rys. 4.31. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy piły A

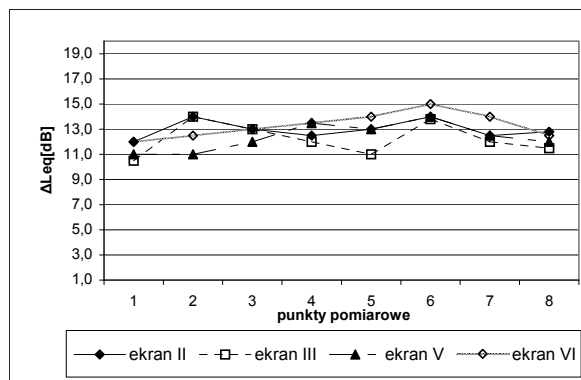
Źródło: opracowanie własne.

Stwierdzono, że model ekranu IV typu „buda” powoduje najniższe obniżenia hałasu i nie kwalifikuje się do ochrony małych maszyn. Również model ekranu I z uwagi na niską skuteczność nie został zastosowany do dalszych badań.

Z porównania skuteczności modelu ekranu II i modelu ekranu V wynika, że dodanie warstwy styropianu niewiele podniosło IL modelu ekranu. Najskuteczniejszy jest model ekranu VI. Średnia wartość IL modelu ekranu VI wynosi 16 dB

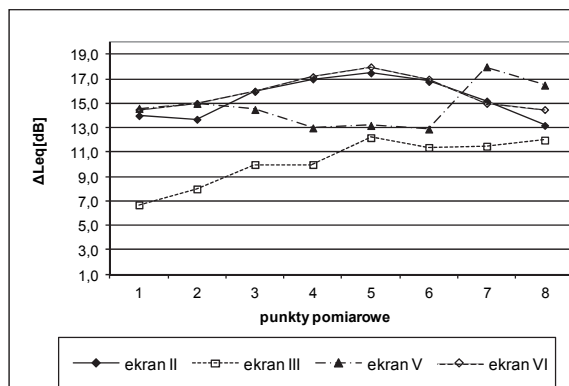
2. Piła B

Do badań piły B wybrano modele ekranów II, III, V i VI. Na rys. 4.32 przedstawiono obniżenie poziomu hałasu powstającego w czasie pracy piły B z zastosowaniem tych modeli ekranów. Z porównania skuteczności modeli ekranów zastosowanych podczas pracy piły B wynika, że różnice w wielkości IL modeli ekranów są małe. Najlepsze własności wykazał, tak jak dla piły A, model ekranu VI. Jednak wartości obniżenia poziomu hałasu piły B są niższe (13 dB) niż piły A (16 dB). Najniższe wartości IL dla piły B wykazał model ekranu III. Średnia wartość IL modelu ekranu VI wynosi 13 dB.



Rys. 4.32. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy piły B

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.33. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy piły C

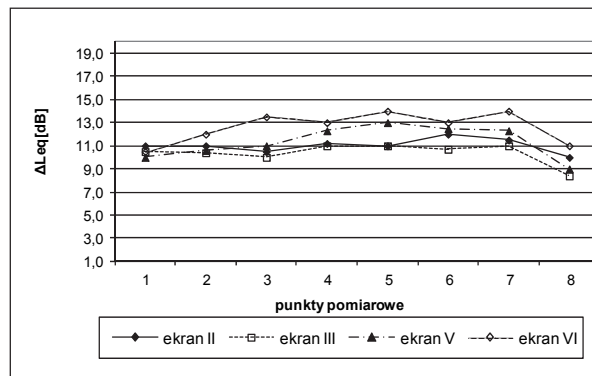
Źródło: opracowanie własne.

3. Piła C

Na rys. 4.33 przedstawiono obniżenie poziomu hałasu powstającego w czasie pracy piły C z zastosowaniem wybranych modeli ekranów. Z porównania skuteczności modeli ekranów zastosowanych podczas pracy piły C wynika, że różnice w wielkości IL modeli ekranów są znaczne, dotyczą one modelu ekranu III. Ekran ten wykazał najniższe obniżenie poziomu hałasu podczas pracy piły C. Najlepsze własności wykazał model ekranu VI, są one zbliżone do wartości IL modeli ekranów II i V, różnice wynoszą od 0 do 4 dB. Średnia wartość IL modelu ekranu VI wynosi 15 dB.

4. Młot

Z porównania skuteczności modeli ekranów zastosowanych podczas pracy młota wynika, że różnice w wielkości IL modeli ekranów są małe. Podobnie wartości IL miały modele ekranów zastosowane podczas pracy piły B. Najlepsze własności wykazał model ekranu VI. Najniższe wartości IL dla młota wykazały modele ekranów III i II. Średnia wartość IL modelu ekranu VI wynosi 12 dB.

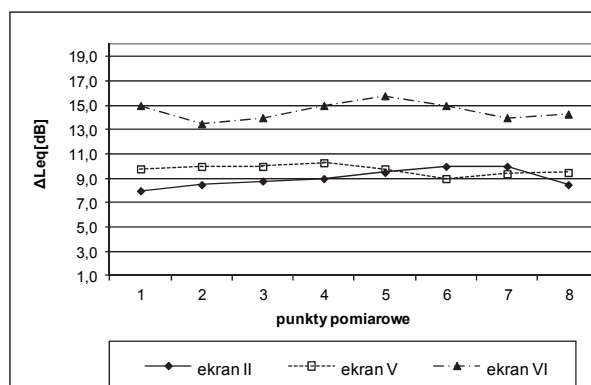


Rys. 4.34. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy młota

Źródło: opracowanie własne.

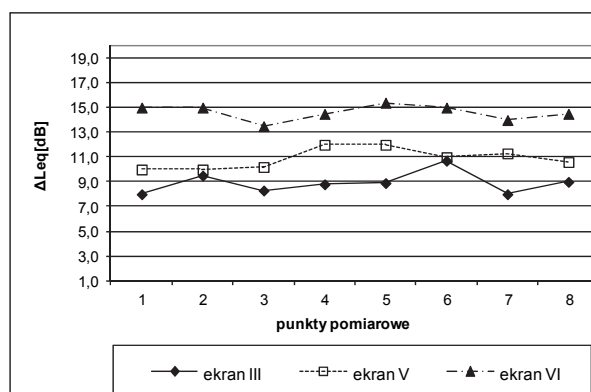
5. Zagęszczarka pozioma

Na rys. 4.35 przedstawiono obniżenie poziomu hałasu powstającego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z zastosowaniem wybranych modeli ekranów. Z porównania skuteczności modeli ekranów zastosowanych podczas pracy zagęszczarki wynika, że najwyższe wartości IL ma model ekranu VI, są one wyższe od modeli ekranów II i V o 4-5 dB. Modele ekranów II i V mają taką samą skuteczność ekranowania – około 9 dB. Średnia wartość IL modelu ekranu VI wynosi 14,5 dB.



Rys. 4.35. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy zagęszczarki poziomej

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.36. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy zagęszczarki pionowej

Źródło: opracowanie własne.

6. Zagęszczarka pionowa

Z porównania wartości efektywności akustycznej modeli ekranów zastosowanych w czasie pracy zagęszczarki pionowej, wynikają podobne wnioski jak dla zagęszczarki pionowej. Różnica pomiędzy IL modeli ekranów II i V jest większa – 2 dB (rys. 4.36).

Średnia wartość IL modelu ekranu VI wynosi 14,5 dB.

4.10. Wpływ tła akustycznego na wyniki pomiarów

Pomiar poziomu hałasu w czasie pracy maszyn bez zastosowania modeli ekranów i z ich zastosowaniem odbywał się w seriach – seria to pomiar poziomu dźwięku w ośmiu punktach pomiarowych dla środkowych częstotliwości pasma oktawowego bez modelu ekranu i z jego zastosowaniem. Przed rozpoczęciem

serii i po jej zakończeniu mierzono poziom tła akustycznego. Pomiar odbywał się w warunkach rzeczywistej pracy maszyn, co powodowało zmienne tło akustyczne. Aby wyniki pomiarów były wiarygodne, wykonano taką liczbę serii żeby wybrać z nich dziesięć serii pomiarów, które odbywały się w warunkach o zbliżonej wartości tła akustycznego. Nie można było jednak przeprowadzić pomiarów wszystkich maszyn w tych samych warunkach akustycznych i atmosferycznych.

Postawiono warunek, aby pomiary poszczególnych maszyn odbywały się przy podobnych poziomach tła akustycznego. Badana wielkość – efektywna izolacyjność akustyczna – Insertion Loss to różnica poziomów ciśnienia akustycznego w tym samym punkcie środowiska przed i po zastosowaniu modelu ekranu. Wpływ tła akustycznego był na oba pomiary podobny.

Przykłady poziomu tła akustycznego podczas pomiarów maszyn:

- zagęszczarka pozioma – 75 dB,
- zagęszczarka pionowa – 79 dB,
- piła A – 68 dB,
- młot – 72 dB,
- piła C – 85 dB.

4.11. Zasadność stosowania ekranów akustycznych w czasie pracy małych maszyn roboczych

W czasie badań modeli ekranów wykonano również pomiary równoważnego poziomu dźwięku A w większych odległościach od ekranu. Były to odległości, w których znajdują się przechodnie. Roboty remontowe prowadzone były w różnych miejscach, różna więc była odległość odbiorców hałasu od źródła i ekranu. Pomiary wykonano w odległości 2, 3 i 4 metrów od źródła hałasu. Odległość 2 m obserwatora od źródła dźwięku występowała rzadko. Poziom L_{Aeq} na wysokości ucha człowieka, tj. 1,6 m przekraczał dopuszczalny poziom hałasu w środowisku i wynosił od 75 dB – dla zagęszczarki poziomej, do 88 dB – dla piły C. Po zastosowaniu modeli ekranów II, V i VI uzyskano efekt ekologiczny względny polegający na obniżeniu poziomu hałasu od 5 dB do 7 dB.

W rozdziale 2 opracowania przedstawiono metody obliczania efektywności akustycznej ekranów komunikacyjnych. Dla wybranych modeli ekranów – II i VI sprawdzono teoretyczną izolacyjność tych modeli ekranów według opisanych metod, o ile ilość danych na to pozwalała. Nie uzyskano zgodności z wynikami doświadczalnymi. Należało się tego spodziewać, ponieważ warunki działania badanych maszyn i modeli ekranów różnią się w sposób istotny od źródeł komunikacyjnych i ekranów komunikacyjnych. Prace te nie były objęte harmonogramem projektu.

Sprawdzono również, dla odległości 2 m, 3 m i 4 m, czy zastosowane ekrany spełniają podstawowe kryterium stosowania ekranów akustycznych, tj. czy spełniony jest warunek podany w rozdziale 3:⁴⁴

⁴⁴ Kucharski R.: *Podstawy stosowania ekranów akustycznych w środowisku. Materiały Międzynarodowej Konferencji, „Walka z hałasem na etapie projektowania”* 2003.

- odbiorca musi znajdować się w cieniu akustycznym, warunek ten będzie spełniony, gdy spełniona będzie zależność:

$$h_o \leq \frac{r_o}{r_e} (h_e - h_z) + h_z$$

gdzie: h_o – wysokość punktu obserwacji [m],

r_o – odległość horyzontalna punktu obserwacji od źródła [m],

r_e – odległość horyzontalna ekranu od źródła [m],

h_e – wysokość ekranu akustycznego [m],

h_z – wysokość źródła dźwięku [m].

Przykład 1

$$\begin{array}{llll} h_e - 1 \text{ m} & h_z - 0,4 \text{ m} & r_o - 4 \text{ m} & r_e - 1 \text{ m} \\ h_o = 4/1 (1 - 0,4) + 0,4 = 2,8 \text{ m} & & & h_o \leq 2,8 \text{ m} \end{array}$$

Przykład 2

$$\begin{array}{llll} h_e - 1 \text{ m} & h_z - 0,4 \text{ m} & r_o - 3 \text{ m} & r_e - 1 \text{ m} \\ h_o = 3/1 (1 - 0,4) + 0,4 = 2,8 \text{ m} & & & h_o \leq 2,2 \text{ m} \end{array}$$

Przykład 3

$$\begin{array}{llll} h_e - 1,5 \text{ m} & h_z - 0,5 \text{ m} & r_o - 2 \text{ m} & r_e - 1 \text{ m} \\ h_o = 2/1 (1,5 - 0,5) + 0,5 = 2,5 \text{ m} & & & h_o \leq 2,5 \text{ m} \end{array}$$

Przykład 4

$$\begin{array}{llll} h_e - 1 \text{ m} & h_z - 0,6 \text{ m} & r_o - 3 \text{ m} & r_e - 0,5 \text{ m} \\ h_o = 3/0,5 (1 - 0,6) + 0,6 = 3 \text{ m} & & & h_o \leq 2,8 \text{ m} \end{array}$$

Wysokość człowieka wynosi 1,5 m do 1,9 m, jest to wysokość mniejsza od obliczonych, zatem przechodzień znajduje się w obszarze działania ekranów.

Oprócz wymienionych wyżej prac nieobjętych harmonogramem, wykonano pomiary na stanowisku pracy operatorów maszyn. Równoważny poziom dźwięku A, mierzony przy uchu pracownika, wynosił od 83 dB do 95 dB. Zgodnie z obowiązującymi przepisami dla poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do 8-godzinnej dobowej wymiaru czasu pracy lub poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do tygodnia pracy – wartość NDN największych dopuszczalnych natężeń wynosi 85 dB. Poziom dopuszczalny hałasu był znacznie przekroczony. Większość pracowników nie korzystała z zabezpieczeń, tylko dwie osoby nosiły słuchawki.

Na podstawie przeprowadzonych badań oczywiste jest, że przed hałasem w czasie robót drogowych należy chronić środowisko i człowieka.

Wnioski

1. Na podstawie mapy akustycznej Łodzi stwierdzono znaczące przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu w środowisku. Przekroczenia te w centrum miasta wynosiły 5-18 dB. Badania zrealizowane w projekcie wykazały, że

poziom hałasu w czasie prowadzenia prac remontowych w pobliżu chodników dwukrotnie zwiększa przekroczenia dopuszczalnego hałasu w środowisku miejskim. Przekroczenia te wynoszą od 20 dB – podczas pracy zagęszczarki poziomej, do 37 dB podczas pracy piły C (cięcie bloków betonowych). Tak duże przekroczenia dopuszczalnego poziomu hałasu powodują, że wskaźnik emisji M przy dużej liczbie użytkowników chodnika osiąga wysokie wartości. Jeżeli prace remontowe prowadzone są przez dłuższy czas, konieczne jest stosowanie zabezpieczeń przed hałasem. Takimi zabezpieczeniami przed hałasem powstającym w czasie pracy małych maszyn do prac ziemnych są przenośne ekrany akustyczne, które stanowią jednocześnie ochronę przed pyłem powstającym w czasie pracy tych maszyn.

2. Przeprowadzone badania efektywności akustycznej (IL) sześciu zbudowanych modeli ekranów akustycznych pozwoliły na określenie wartości średniej IL oraz ocenę wpływu różnych czynników na wielkości obniżenia hałasu. Cztery modele ekranów, które wybrano na podstawie szczegółowych badań obniżenia IL jednej maszyny, wykazywały następujące wartości średnie IL w odległości 1 m od ekranu, w zależności od chronionej maszyny:
 - model ekranu II – 8-9 dB,
 - model ekranu III – 7-10 dB,
 - model ekranu V – 9-13 dB,
 - model ekranu VI – 12-17 dB.

Wpływ częstotliwości na wielkość IL

Wielkość IL była różna dla różnych ekranów i dla różnych częstotliwości emitowanego hałasu. Najniższą skuteczność wszystkie badane ekrany wykazały dla częstotliwości 125-250 Hz. IL wynosiła wtedy 2-5 dB. Należy zaznaczyć, że w tym zakresie najniższy był również poziom emitowanego hałasu. Dla częstotliwości 1000-8000 Hz izolacyjność efektywna ekranów sięgała nawet 14-19 dB (model ekranu VI).

Wpływ kształtu modelu ekranu na wielkość IL

Wybrane modele ekranów posiadały jedno lub dwa uchylne boczne skrzydła. Pomiary L_{Aeq} oraz L_{max} po zastosowaniu modeli ekranów wykonane zostały dla ekranów pionowych i pod kątem 45°. Pozwoliło to na ocenę wpływu kształtu ekranu na wielkość obniżenia poziomu hałasu. W przypadku równoważnego poziomu hałasu zaobserwowano zwiększenie efektywności akustycznej dzięki odchyleniu skrzydeł o 2-3 dB po stronie skrzydła. Zjawiska tego nie zaobserwowano podczas pomiaru L_{max} .

Obniżenia równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu maszyn

Dla wszystkich badanych maszyn określano równoważny poziom dźwięku A oraz poziom maksymalny podczas pracy bez zastosowania ekranów i z ekranami. Stwierdzono, że wielkość obniżenia poziomu hałasu była w obu przypadkach taka sama. Różnice wynosiły od 0 do 2 dB, co biorąc pod uwagę warunki przeprowadzania pomiarów, mieści się w granicach błędu pomiaru.

Wpływ wysokości modelu ekranu na wielkość IL

Badane modele ekranów akustycznych są ekranami przenośnymi, powinny charakteryzować się małymi wymiarami i niskim ciężarem. Z tego względu ograniczono ich wymiary maksymalnie, uwzględniając wymiary maszyn. Wysokość pięciu modeli ekranów wynosiła 1 m, jeden model miał wysokość 1,5 m. Ekran ten obniżył poziom hałasu o 17 dB w przypadku maszyn o wyższych, np. zagęszczarki pionowej. Dla innych maszyn np. piły B i C zwiększenie wysokości nie poprawiło tak znacząco wartości IL.

Wpływ tła akustycznego na wielkość IL

Pomiary poziomu hałasu maszyn zostały przeprowadzone w taki sposób, że maszyna pracowała w takich samych warunkach bez modelu ekranu i z jego zastosowaniem (p. 5.10). Wartość IL była wyznaczana na podstawie pomiarów porównawczych, poziom tła akustycznego nie miał wpływu na jej wielkość. Różnice pomiędzy poziomami tła akustycznego, w których pracowały poszczególne maszyny, powodowały zmianę wartości IL o 1-3 dB.

Wpływ położenia punktów pomiarowych na wielkość IL

Punkty pomiarowe w czasie prowadzonych badań były położone wzdłuż ekranów. Nie zaobserwowano istotnego wpływu położenia punktu pomiarowego na wielkość IL badanego ekranu. Różnice IL pomiędzy punktami zewnętrznymi a punktami wewnętrznymi wynosiły 1-4 dB. Podobne różnice obserwowano podczas pomiarów poziomu hałasu w czasie pracy maszyn bez ekranów.

Wpływ izolacyjności właściwej materiału na wielkość IL

Do budowy modeli ekranów akustycznych wykorzystano materiały o podobnej izolacyjności właściwej (25, 26, 27 dB), najwyższą izolacyjność właściwą posiadały płyty PD2-30 dB. Zastosowanie materiału o wyższej izolacyjności właściwej nie przyniosło pożądanego rezultatu, a jedynie zwiększyło znacząco ciężar modeli ekranów.

Przeprowadzona analiza badań efektywności akustycznej modeli ekranów wykazała zasadność zastosowania takich ekranów podczas pracy małych niemobilnych maszyn roboczych do prac ziemnych pracujących w pobliżu chodników ulic. Nawet niewielkie obniżenie poziomu hałasu środowiskowego w warunkach miejskich może okazać się dobrym efektem ekologicznym.

Przedstawione badania były wstępnymi badaniami eksperymentalnymi, których wyniki mogą być pomocne przy dalszych pracach nad zaprojektowaniem rzeczywistego ekranu akustycznego stosowanego do obniżenia hałasu podczas pracy małych niemobilnych maszyn roboczych do prac ziemnych pracujących na ulicach naszych miast.

Bibliografia

1. Bugliarello G., Alexandre A., Barnes J., Wakstein Ch.: *The impact of noise pollution*. Pergamon Press, New York 1999.
2. Canetto P.: *Techniques de reduction du bruit en entreprise*. Institut National de Recherche et Securite, Paris 2005.
3. Engel Z.: *Ochrona środowiska przed drganiem i hałasem*. PWN, Warszawa 2001.
4. Engel Z.: *Wibroakustyka maszyn i środowiska*. Wiedza i życie, Warszawa 1995.
5. Engel Z., Makarewicz R., Morzyński L., Zawieska W.M.: *Metody aktywne redukcji hałasu*. CIOP, Warszawa 2001.
6. Engel Z., Sadowski J., Sawicka-Wałkowska M., Zaremba S.: *Ekrany akustyczne*. Ministerstwo Ochrony Środowiska, Kraków 1990.
7. Engel Z., Sikora J.: *Obudowy dźwiękochłonna-izolacyjne. Podstawy projektowania i stosowanie*. Wydawnictwo AGH, Kraków 1998.
8. Harris Ch.: *Handbook of Noise Control*. Graw Hill Book Company. New York.
9. Kazimierska-Grębosz M.: *Acoustic effectivity of screens used with small earth moving machines*. 9th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2009, Serbia.
10. Kazimierska-Grębosz M.: *The protection of environment and employees against the noise emitted during the groundwork*. Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, 27 (99) 2011.
11. Kazimierska-Grębosz M., Grądzki R.: *The role of noise maps for the noise management in the cities*. Applied Mechanics and Materials, Tom: 806, 2015.
12. Kazimierska-Grębosz M.: *Zastosowanie kotar akustycznych w czasie wykonywania prac remontowych*. Agencja wydawnicza SIMP. Mechanik 7/2011,
13. Kucharski R.: *Podstawy stosowania ekranów akustycznych w środowisku*. Materiały Międzynarodowej Konferencji „Walka z hałasem na etapie projektowania” 2003.
14. Magazine Brüel&Kjær. Nr 2/2003.
15. Makarewicz R.: *Hałas w środowisku*. OWN, Poznań 2001.
16. Maekawa Z., Lorol P.: *Environmental and Architectural Acoustic*. SPON, London 1994.
17. Michalczyk J., Wszółek G.: *Ekran akustyczny do zabudowy w terenie otwartym*, [w:] Akustyka w technice medycynie i kulturze. IPPT PAN, Warszawa 1999.
18. Noise Explorer Typ 7815 help.
19. Noel Ch.: *Méthode temporelle d'identification de sources sonores bruyantes en milieu industriel* NS236, Institut National de Recherche et Securite, Paris 2003.
20. PN – ISO – 1996-1 :2006.
21. PN – N – 01341.
22. PN – N 01307
23. PN – ISO 10847.
24. Puzyna Cz.: *Ochrona środowiska pracy przed hałasem*, tom I. WNT, Warszawa 1982.
25. Raport o oddziaływaniu na środowisko projektowanego przedsięwzięcia inwestycyjnego ŁTR. Aon-t, Łódź 2005.
26. Sadowski J.: *Kształtowanie klimatu akustycznego środowiska i jego ochrona przed hałasem i drganiem*. Prace ITB nr 2-3, 1999.
27. Thavez-Pipard D., Guallezzi J-P.: *Les communes et le bruit*. Le Moniteur, Paris 2005.

Akty prawne

28. Ustawa z dnia 27 04 2001. Prawo Ochrony Środowiska (tekst ujednolicony 16 05 2016 roku)
29. Prawo Ochrony Środowiska. Dz.U. 2013 poz. 1, 2, 3, 2.
30. Ustawa o ratyfikacji konwencji 148 Międzynarodowej Organizacji Pracy.
31. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 25 04 2008.
32. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 14 06 2009.
33. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 16 11 2010.
34. Dyrektywa Unii Europejskiej 2000/14/WE.
35. Dyrektywa Unii Europejskiej 2005/88/WE.
36. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 12 2005.
37. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 15 02 2006.
38. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 05 2007.

Źródła internetowe

39. <http://www.anc.pl>
40. <http://www.halas.wortal.net>
41. <https://www.muzyczny.pl>
42. <http://www.sasal.pl>
43. <http://www.tremo.pl>
44. <http://www.gois.gov.pl>

Spis rysunków

Rys. 1.1. Obszar realizacji ŁTR i obszar badań hałasu w czasie prac drogowych.....	6
Rys. 1.2. Podział hałasu ze względu na oddziaływanie.....	10
Rys. 1.3. Podział hałasu zewnętrznego	11
Rys. 1.4. Szczegółowy podział źródeł energii wibroakustycznej.....	13
Rys. 1.5. Podział źródeł hałasu ze względu na fizyczne przyczyny generowania	13
Rys. 1.6. Podział metod zwalczania hałasu.....	23
Rys. 2.1. Ekran akustyczny na drodze fal dźwiękowych	29
Rys. 2.2. Ekranowanie źródła energii wibroakustycznej w pomieszczeniu zamkniętym.....	30
Rys. 2.3. Ekran Vicoustic Flexi.....	31
Rys. 2.4. Podwieszane panele akustyczne.....	31
Rys. 2.5. Ekranowanie źródła hałasu w przestrzeni otwartej	32
Rys. 2.6. Kształty przekrojów poprzecznych ekranów	33
Rys. 2.7. Ekran produkowany przez firmę Pascal.....	34
Rys. 2.8. Schemat układu źródło-ekran-odbiorca	35
Rys. 2.9. Układy źródło-odbiorca stosowane w metodzie Rettingera.....	36
Rys. 2.10. Wyznaczanie IL ekranu metodą Rettingera.....	37
Rys. 2.11. Układ źródło-ekran-odbiorca przyjęty w metodzie Redfearna	37
Rys. 2.12. Wykres do wyznaczania IL wg metody Redfearna.....	38
Rys. 2.13. Efektywność ekranowania wg metody Delany'ego	39
Rys. 2.14. Układ źródło-ekran-odbiorca stosowany w metodzie VDI-2720.....	40
Rys. 2.15. Wykres efektywności akustycznej ekranów wg metody Maekawy ..	41
Rys. 2.16. Schemat układu źródło-ekran-odbiorca zastosowanego do obliczeń IL	41
Rys. 2.17. Ekrany akustyczne firmy Ekobel: a – przy autostradzie A2 w Koninie, b – w Nowym Tomysłu	44
Rys. 2.18. Ekrany akustyczne firmy Welon: a – ekran "zielona ściana", b – przezroczysty.....	44
Rys. 2.19. Przykłady ekranów akustycznych: a – wspomagany zielenią, b – przy torze kolejowym, c – chroniący budynek, ten ekran nie chroni mieszkańców wyższych kondygnacji	45
Rys. 2.20. Ekrany akustyczne firmy Techbud: a – ekran przy torach kolejowych w Koluszkach, b – ekran przy obwodnicy miasta Wojnice, c – ekran w Krakowie	45
Rys. 3.1. Piła A.....	47
Rys. 3.2. Piła B.....	47
Rys. 3.3. Piła C.....	48
Rys. 3.4. Młot udarowy.....	48
Rys. 3.5. Zagęszczarka pozioma	49
Rys. 3.6. Zagęszczarka pionowa	49

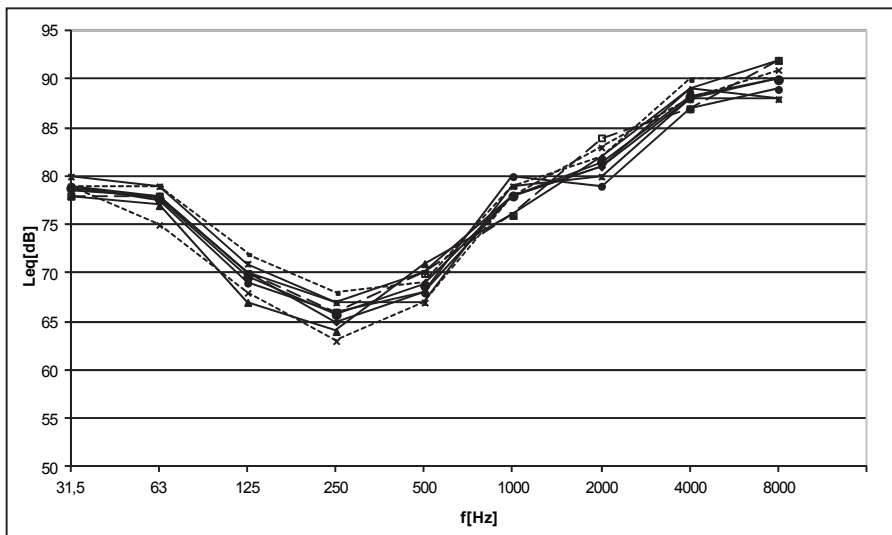
Rys. 3.7. Agregat prądotwórczy.....	49
Rys. 3.8. Równiarka Honda Gx160.....	49
Rys. 3.9. Menu i możliwości programu Noise Explorer Type 7815	51
Rys. 3.10. Model ekranu I: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu	53
Rys. 3.11. Model ekranu II: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu.....	54
Rys. 3.12. Model ekranu III: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu	55
Rys. 3.13. Model ekranu IV „buda” (zdjęcia).....	56
Rys. 3.14. Model ekranu V: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu	56
Rys. 3.15. Model ekranu VI: a – schemat modelu, b – zdjęcia modelu	57
Rys. 4.1. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów pomiarowych, emitowany w czasie pracy piły A	62
Rys. 4.2. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów pomiarowych, emitowany w czasie pracy piły C	63
Rys. 4.3. Porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A	63
Rys. 4.4. Porównanie równoważnego i maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy młota w punktach pomiarowych 1-8....	64
Rys. 4.5. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły C	64
Rys. 4.6. Maksymalny poziom hałasu w czasie pracy piły B	65
Rys. 4.7. Porównanie pomiarów, w odległości 1 m i 1,5 m od maszyny, równoważnego poziomu hałasu emitowanego podczas pracy piły B do betonu.....	65
Rys. 4.8. Porównanie pomiarów, w odległości 1 m i 1,5 m od maszyny, równoważnego poziomu hałasu emitowanego podczas zagęszczarki poziomej	66
Rys. 4.9. Porównanie poziomów równoważnych hałasu zmierzonego w czasie pracy maszyn z poziomem dopuszczalnym wg Rozporządzenia Ministra Środowiska	67
Rys. 4.10. Porównanie poziomów maksymalnych hałasu zmierzonego w czasie pracy maszyn z poziomem dopuszczalnym wg Rozporządzenia Ministra Środowiska	67
Rys. 4.11. Uśredniony, dla punktów 1-8, poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez ekranu i z ekranem II.....	68
Rys. 4.12. Uśredniony, dla punktów 1-8, maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez ekranu i z ekranem II	69
Rys. 4.13. Uśredniony, dla wszystkich punktów, poziom hałasu emitowanego przez piłę C bez ekranu i z ekranem III	69
Rys. 4.14. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem I .	70
Rys. 4.15. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II.....	71
Rys. 4.16. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu III.....	71
Rys. 4.17. Obniżenie poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem IV	72

Rys. 4.18. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu V	72
Rys. 4.19. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego	73
Rys. 4.20. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II pionowego	74
Rys. 4.21. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem II	74
Rys. 4.22. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu III pionowego	75
Rys. 4.23. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem III	75
Rys. 4.24. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V pionowego	76
Rys. 4.25. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego	76
Rys. 4.26. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem VI	77
Rys. 4.27. Porównanie wpływu odchylenia skrzydeł ekranu II na obniżenie hałasu podczas pracy piły A	77
Rys. 4.28. Porównanie wpływu odchylenia skrzydeł ekranu VI na obniżenie hałasu podczas pracy piły C	78
Rys. 4.29. Porównanie wpływu odchylenia skrzydeł ekranu VI na obniżenie maksymalnego hałasu podczas pracy piły C	78
Rys. 4.30. Porównanie obniżenie poziomu hałasu ΔL_{eq} i poziomu ΔL_{max} podczas pracy młota z ekranem III pionowym	79
Rys. 4.31. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy piły A	79
Rys. 4.32. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy piły B	80
Rys. 4.33. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy piły C	80
Rys. 4.34. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy młota	81
Rys. 4.35. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy zagęszczarki poziomej	82
Rys. 4.36. Porównanie efektywności akustycznej modeli ekranów podczas pracy zagęszczarki pionowej	82

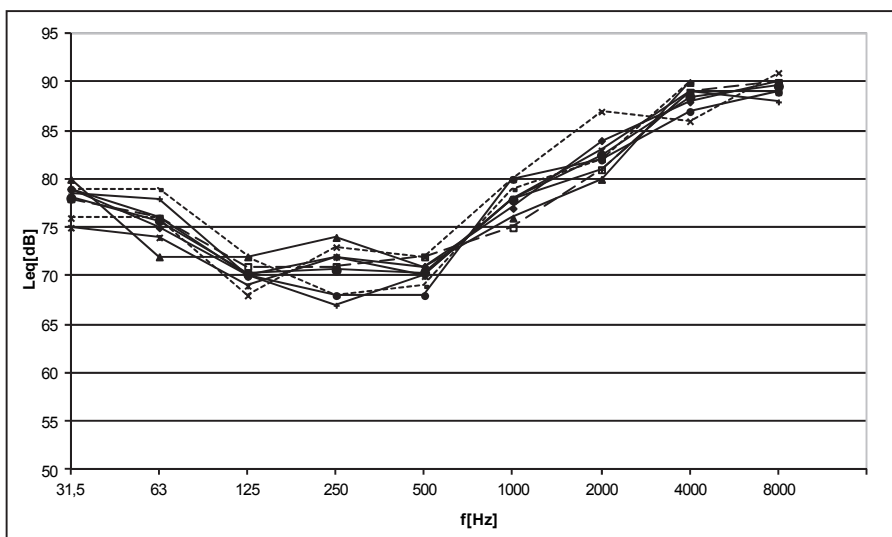
Spis tabel

Tabela 1.1. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{AeqD} i L_{AeqN} , które mają zastosowanie do ustalenia i kontroli warunków korzystania ze środowiska, w odniesieniu do jednej doby	18
Tabela 1.2. Dopuszczalne poziomy hałasu w środowisku powodowanego przez poszczególne grupy źródeł hałasu, z wyłączeniem hałasu powodowanego przez starty, lądowania oraz linie elektroenergetyczne, wyrażone wskaźnikami L_{DWN} i L_N , które mają zastosowanie do prowadzenia długookresowej polityki w zakresie ochrony przed hałasem.....	19
Tabela 1.3. Wartości dopuszczalne gwarantowanego poziomu mocy akustycznej urządzeń, o których mowa w załączniku nr 1 do Rozporządzenia	21
Tabela 2.1	42
Tabela 2.2	42

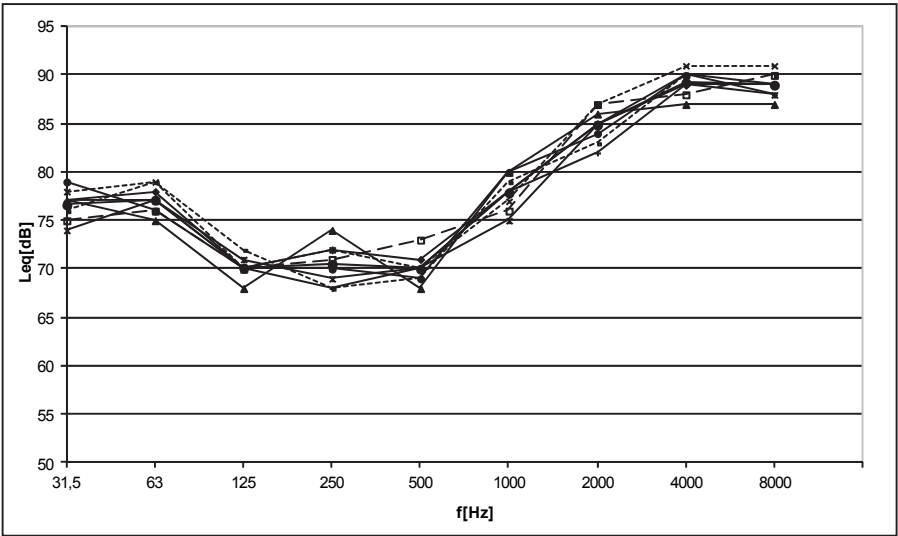
Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę A w funkcji częstotliwości



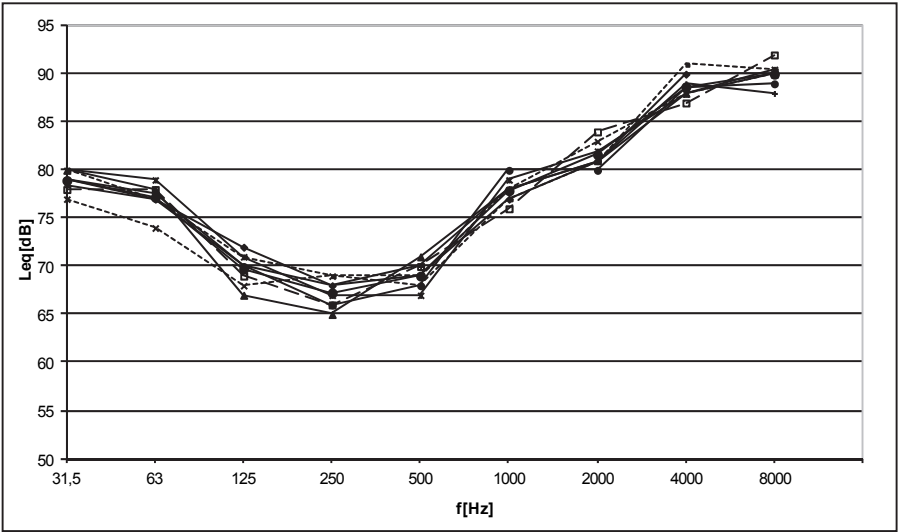
Rys. 1. Poziom hałasu emitowanego przez pilę A zmierzony w p. 1



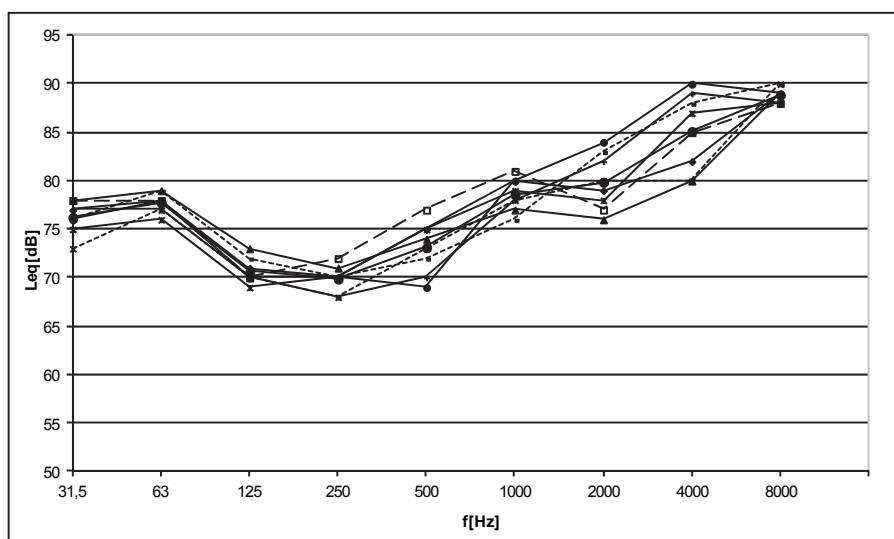
Rys. 2. Poziom hałasu emitowanego przez pilę A zmierzony w p. 2



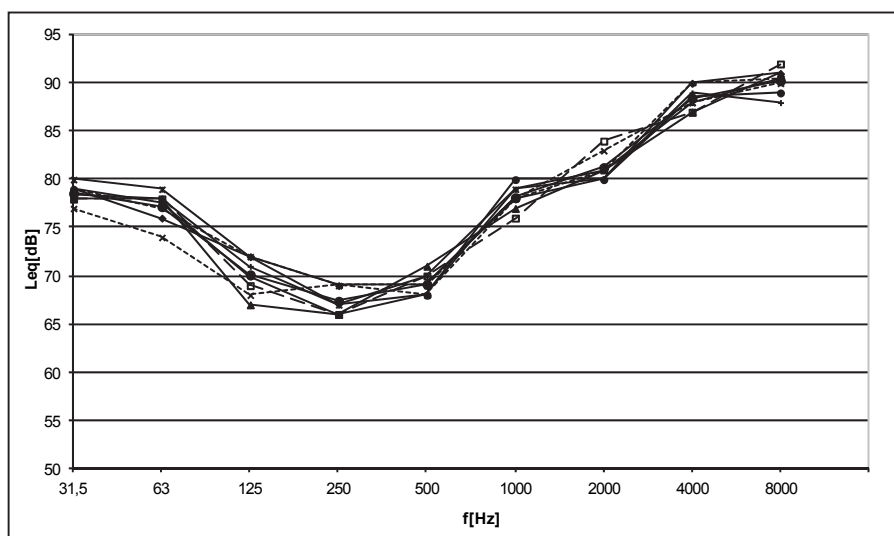
Rys. 3. Poziom hałas emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 3



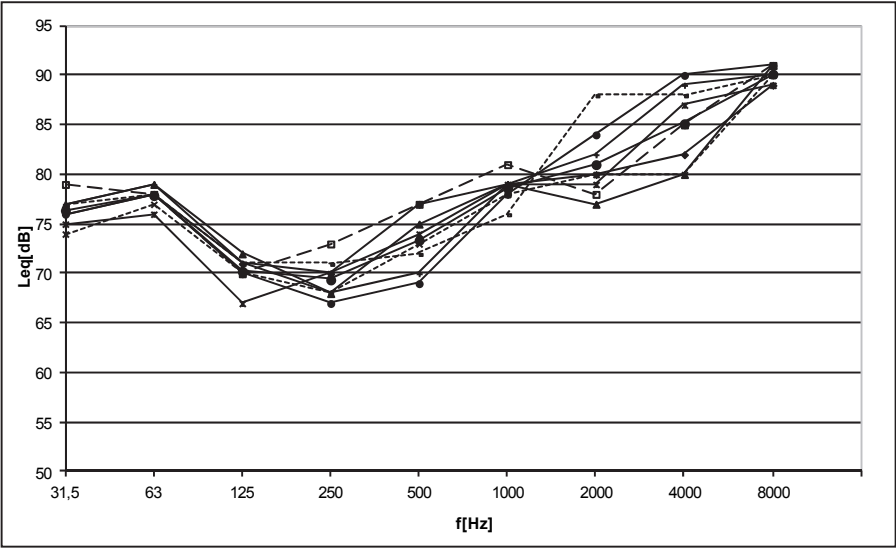
Rys. 4. Poziom hałas emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 4



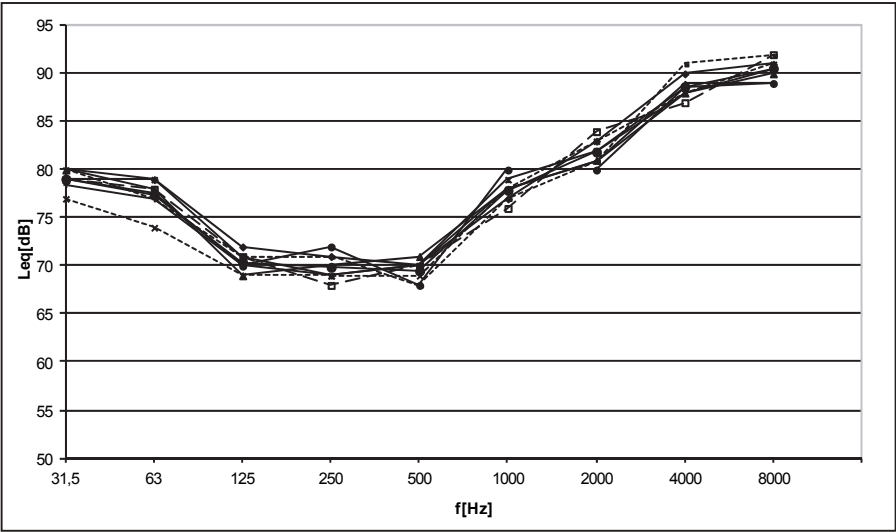
Rys. 5. Poziom hałas emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 5



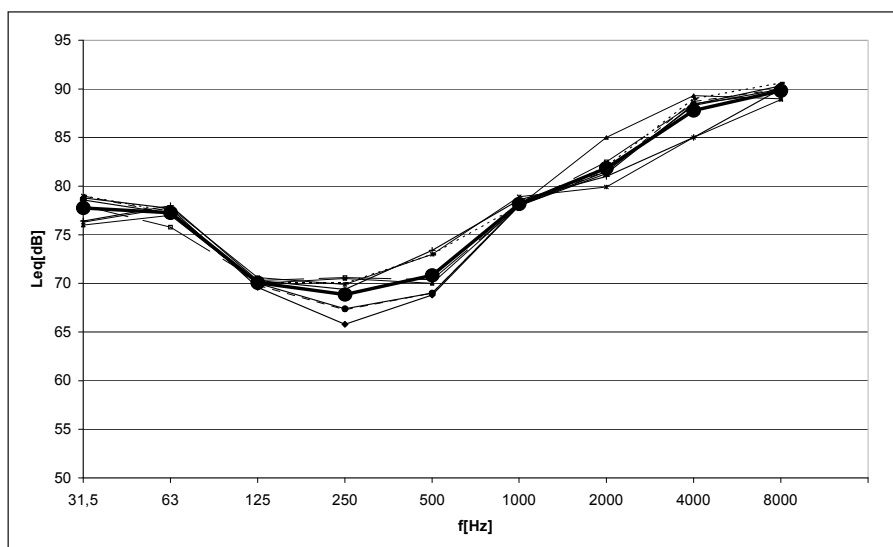
Rys. 6. Poziom hałas emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 6



Rys. 7. Poziom hałasu emitowanego przez pilę A zmierzony w p. 7

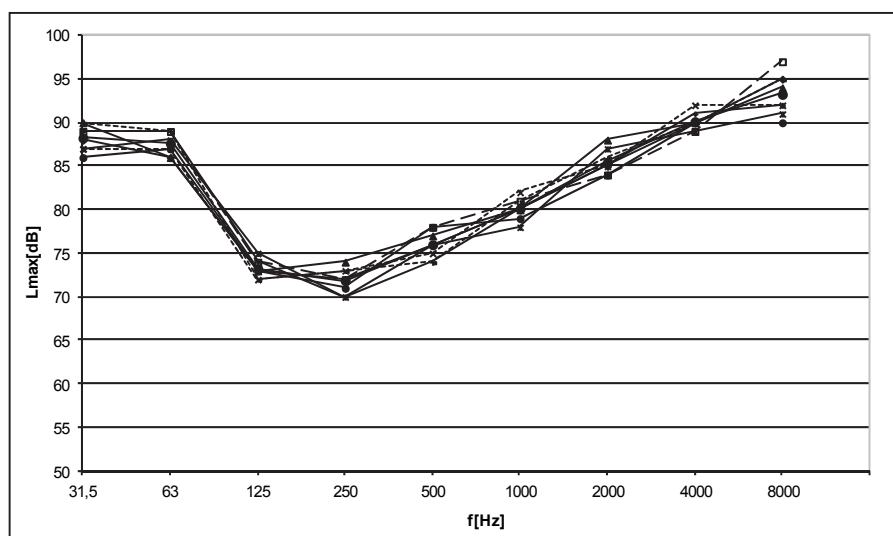


Rys. 8. Poziom hałasu emitowanego przez pilę A zmierzony w p. 8

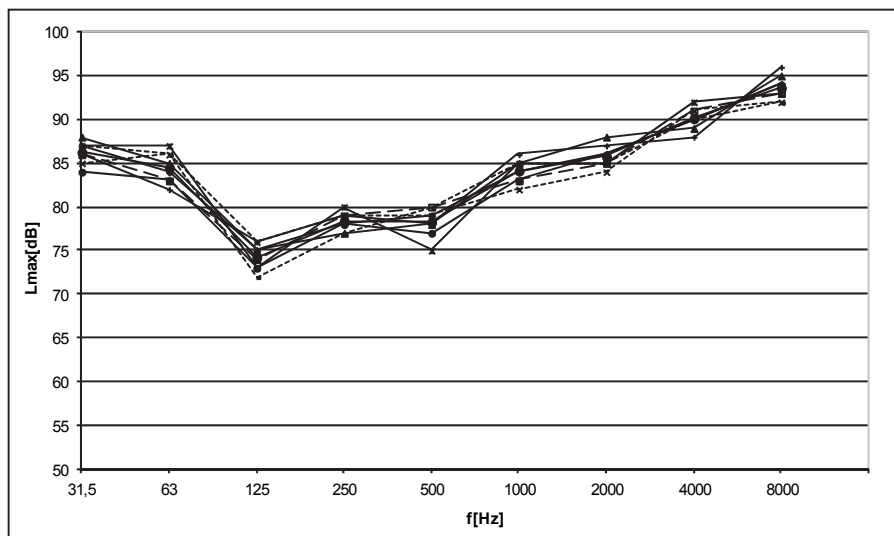


Rys. 9. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie pracy piły A

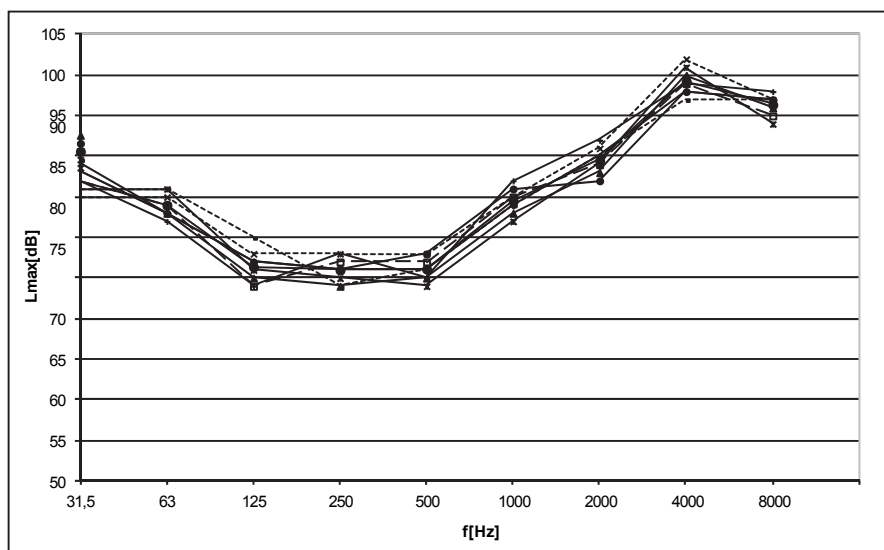
Wykresy maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A w funkcji częstotliwości



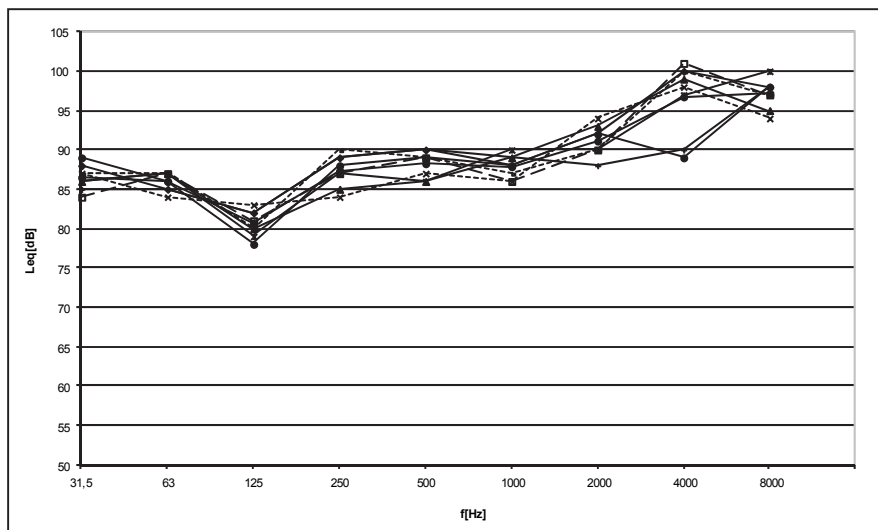
Rys. 10. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 1



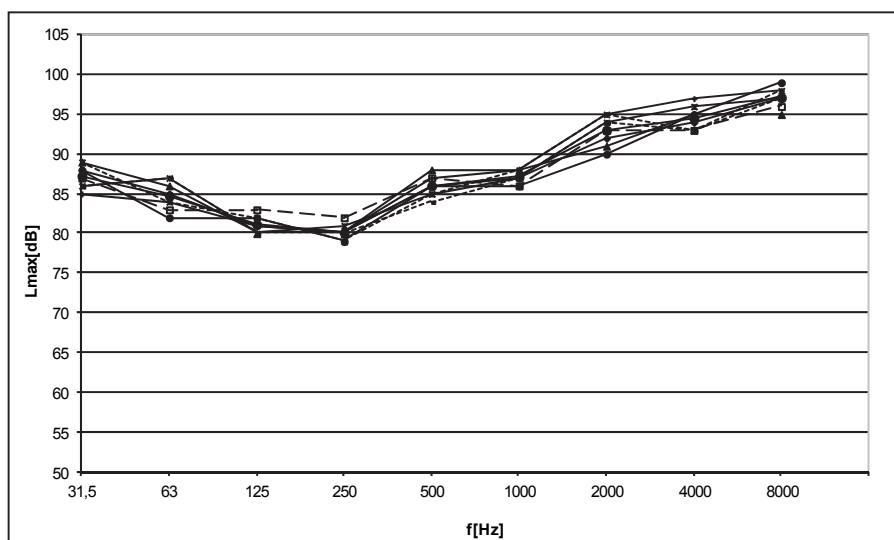
Rys. 11. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 2



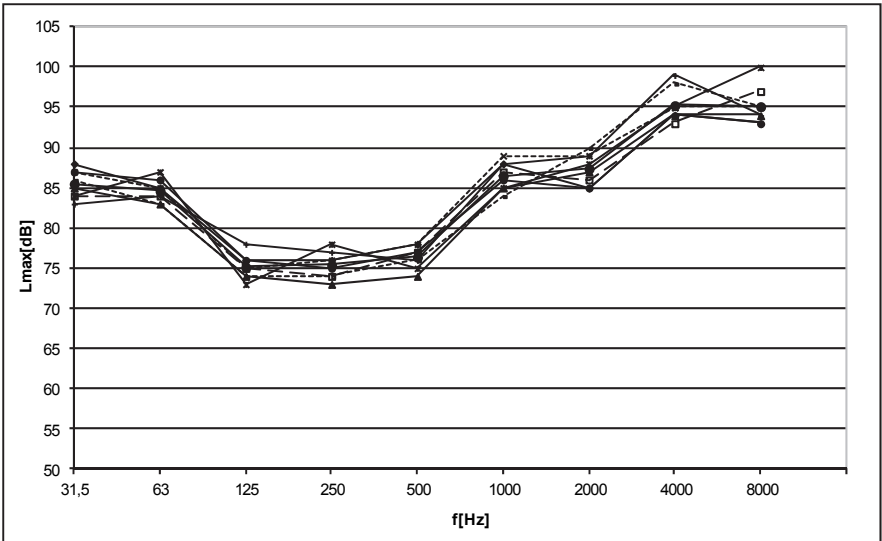
Rys. 12. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 3



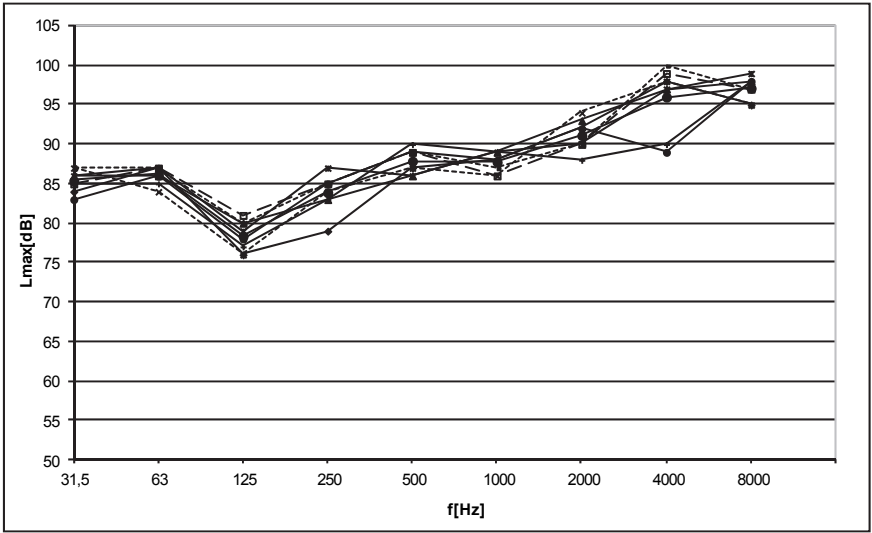
Rys. 13. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 4



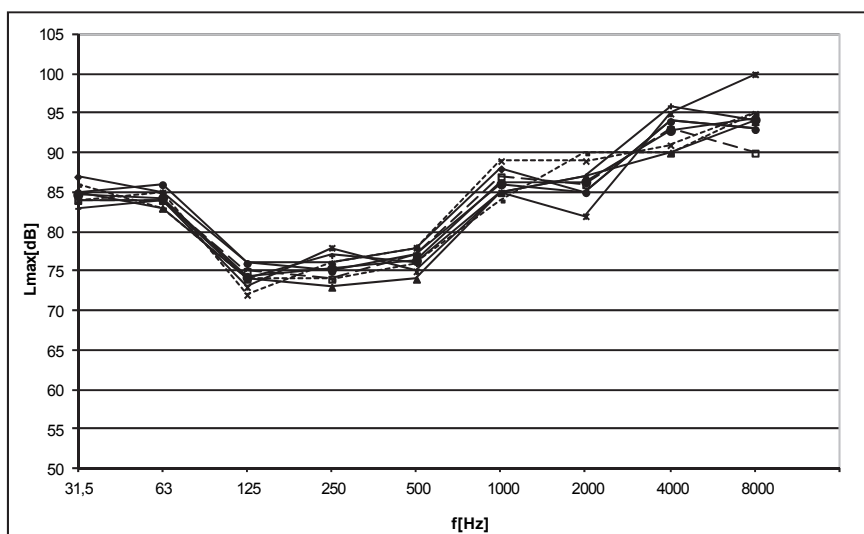
Rys. 14. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 5



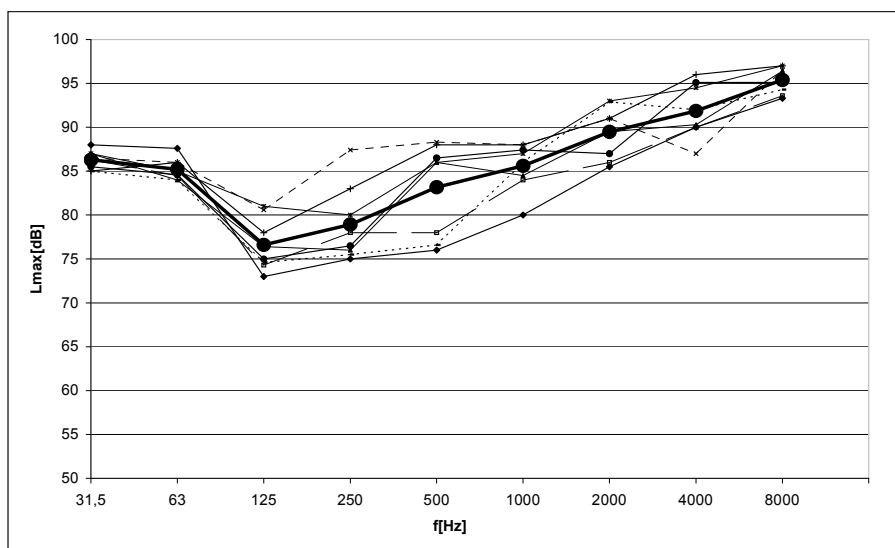
Rys. 15. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 6



Rys. 16. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 7

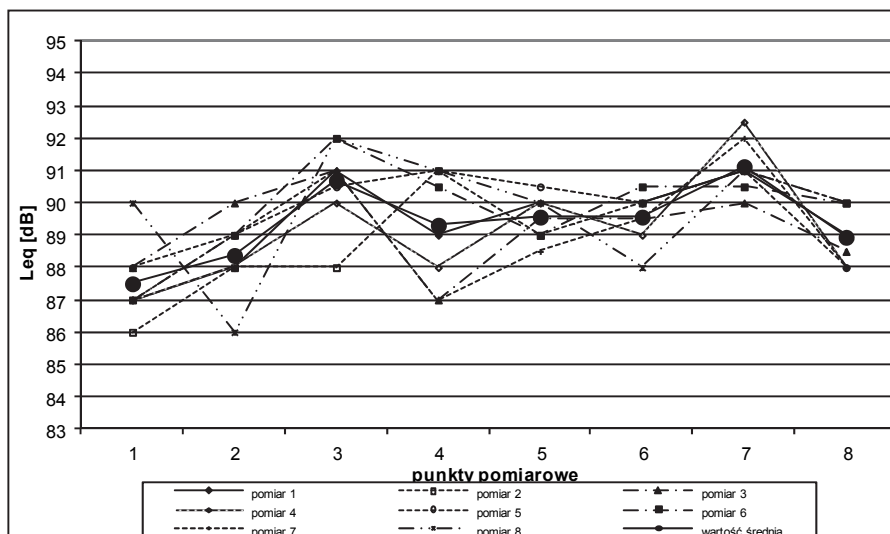


Rys. 17. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A zmierzony w p. 8



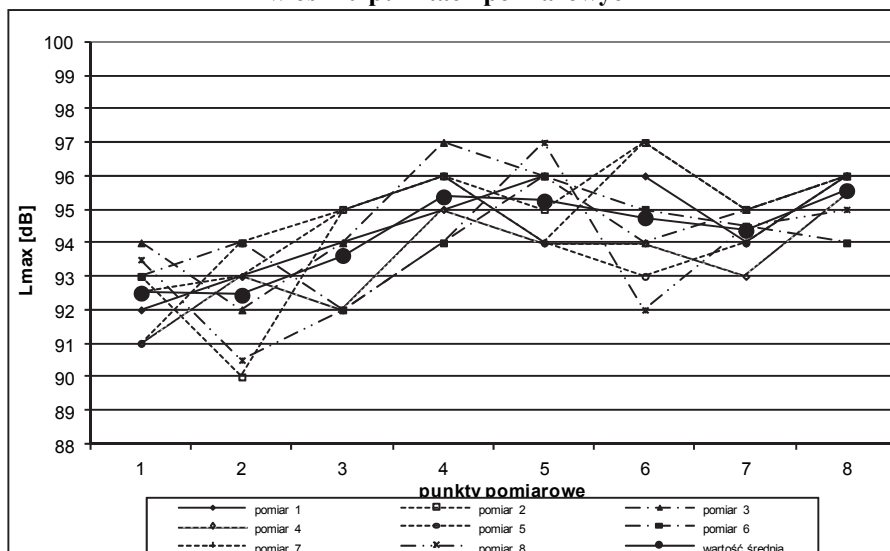
Rys. 18. Uśredniony maksymalny poziom hałasu, dla wszystkich punktów, dla piły A

Wykresy równoważnego poziomu hałasu w czasie pracy piły A w ośmiu punktach pomiarowych



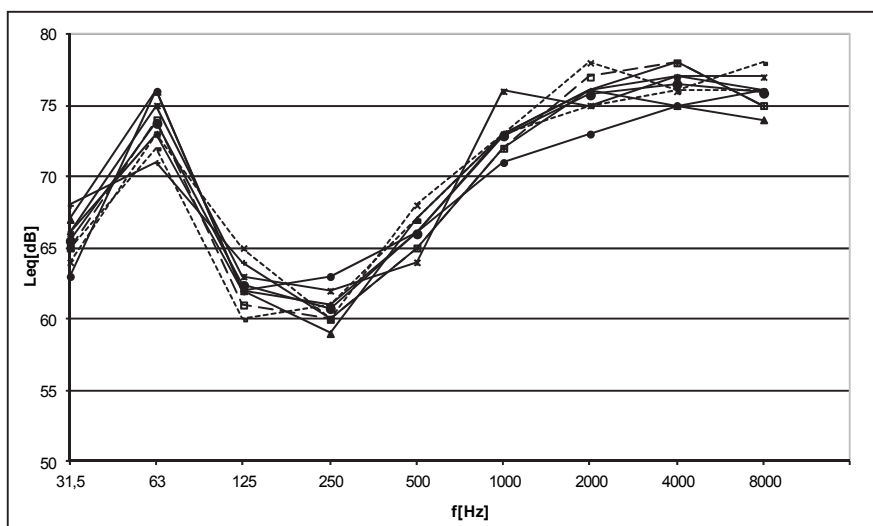
Rys. 19. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły A

Wykresy maksymalnego poziomu hałasu w czasie pracy piły A w ośmiu punktach pomiarowych

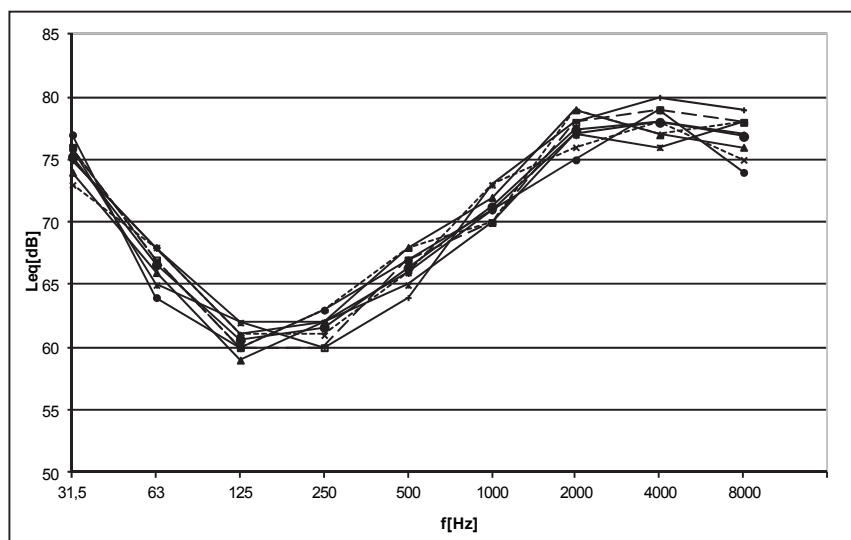


Rys. 20. Maksymalny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły A

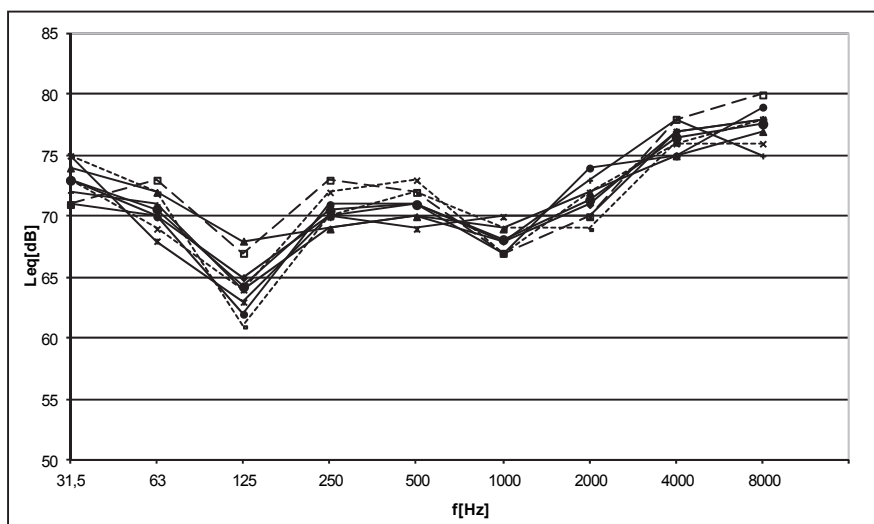
Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę A z zastosowaniem ekranu II w funkcji częstotliwości



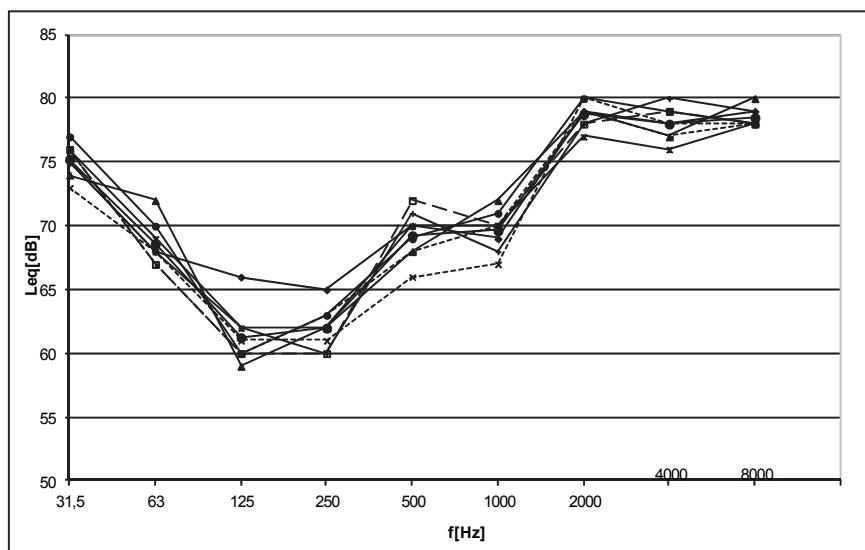
Rys. 21. Poziom hałas emitowanego przez pilę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 1



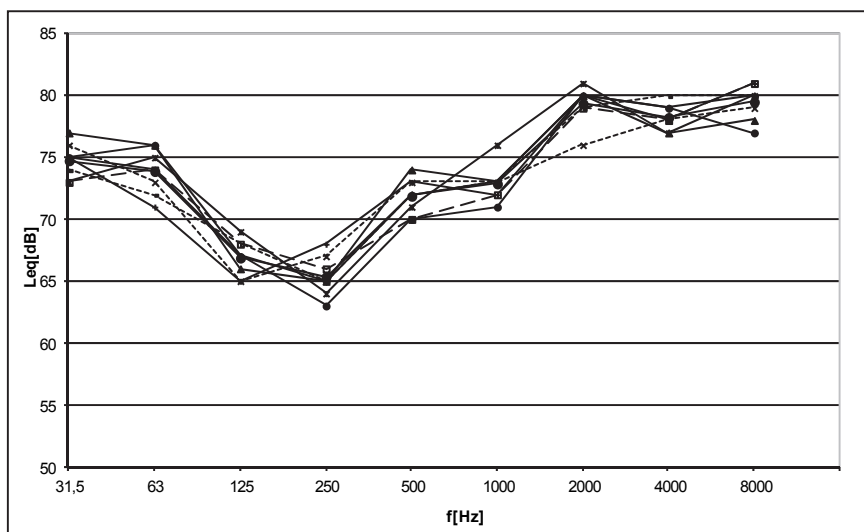
Rys. 22. Poziom hałas emitowanego przez pilę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 2



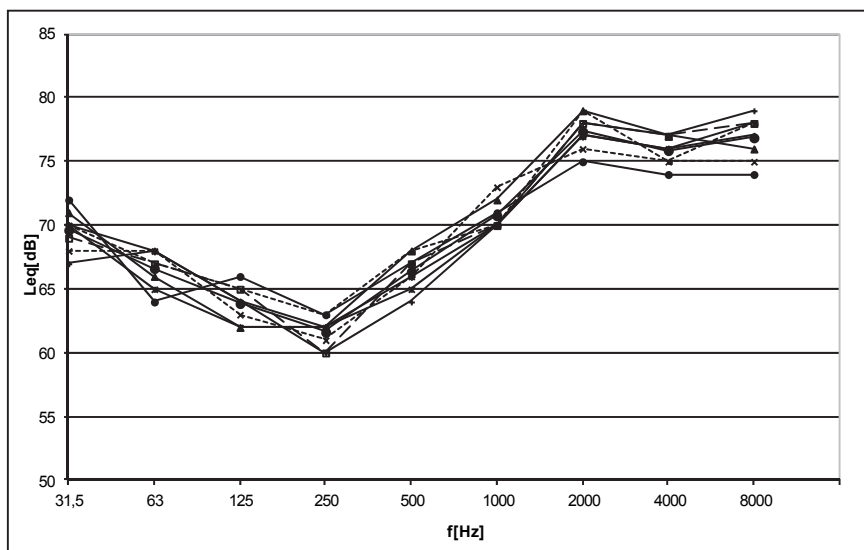
Rys. 23. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 3



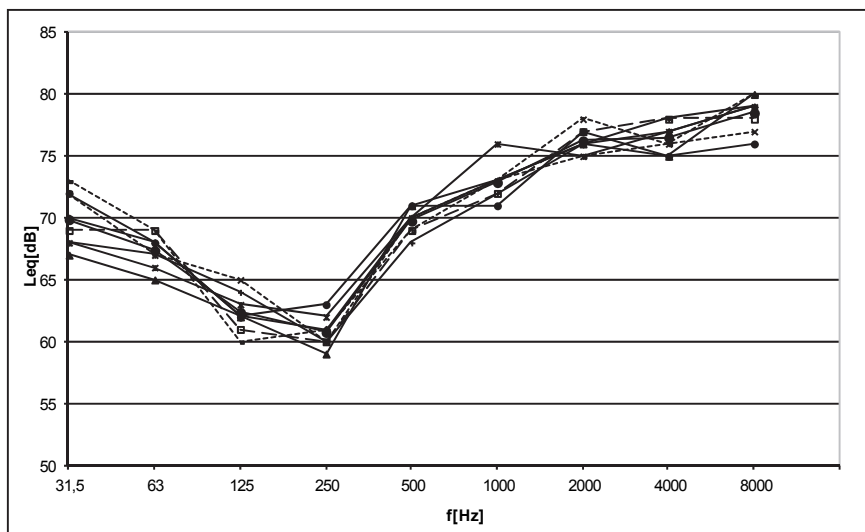
Rys. 24. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 4



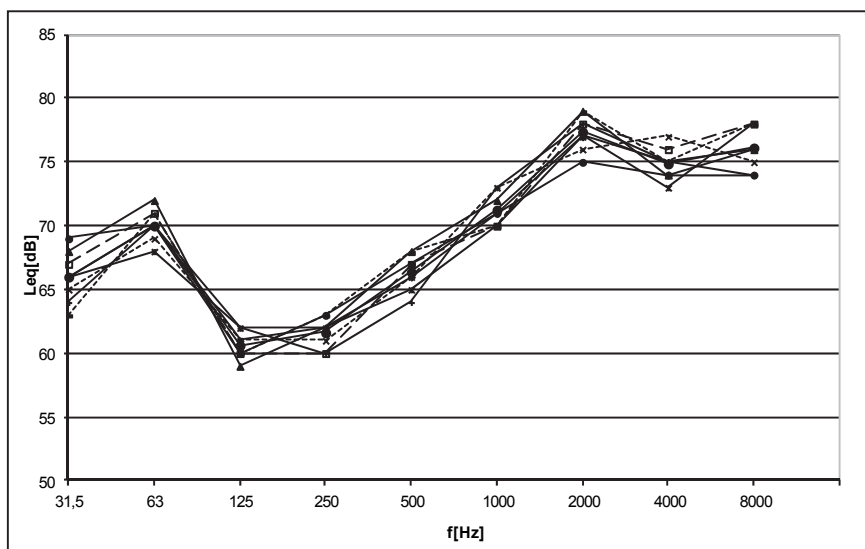
Rys. 25. Poziom hałas emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 5



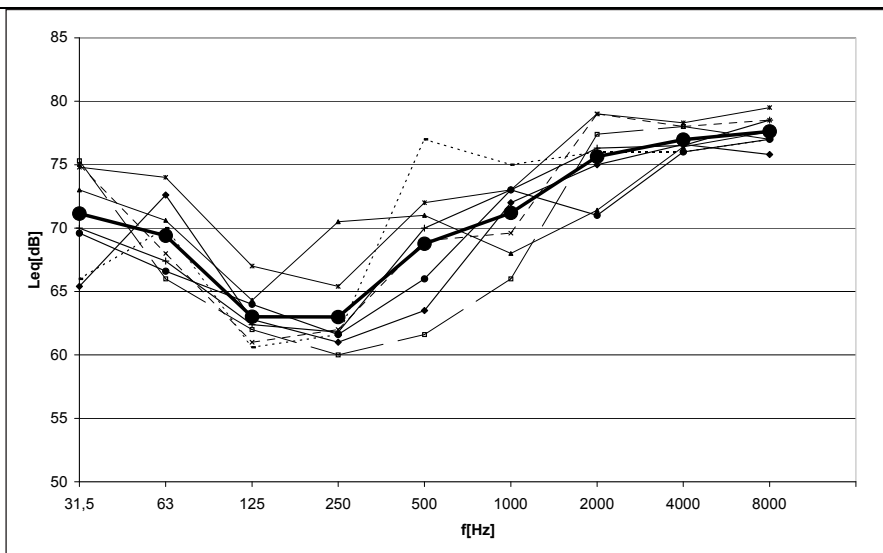
Rys. 26. Poziom hałas emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 6



Rys. 27 Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 7

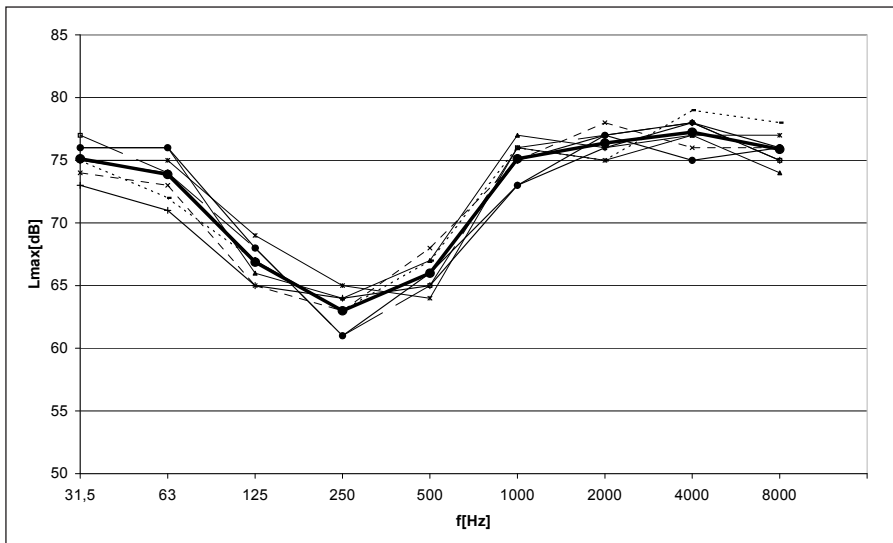


Rys. 28. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II zmierzony w p. 8

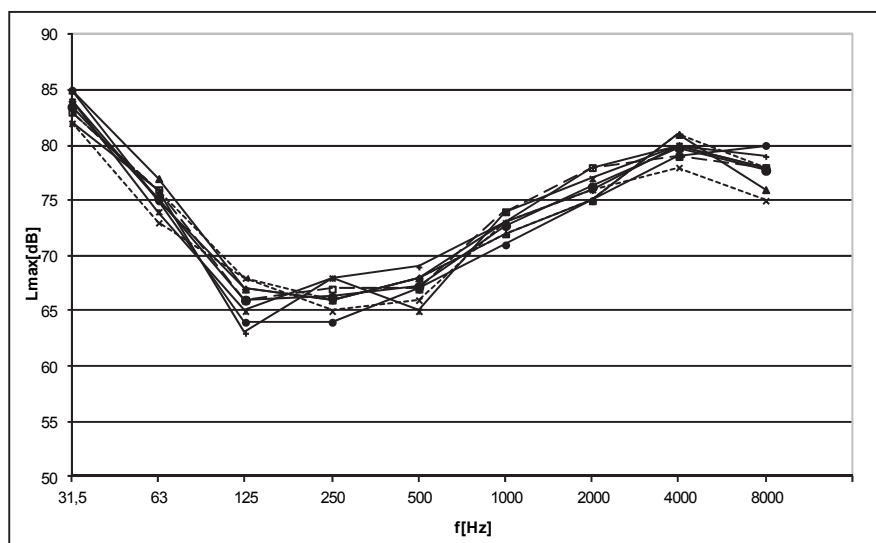


Rys. 29. Uśredniony z p.1-8 poziom hałasu emitowany przez piłę A z ekranem II

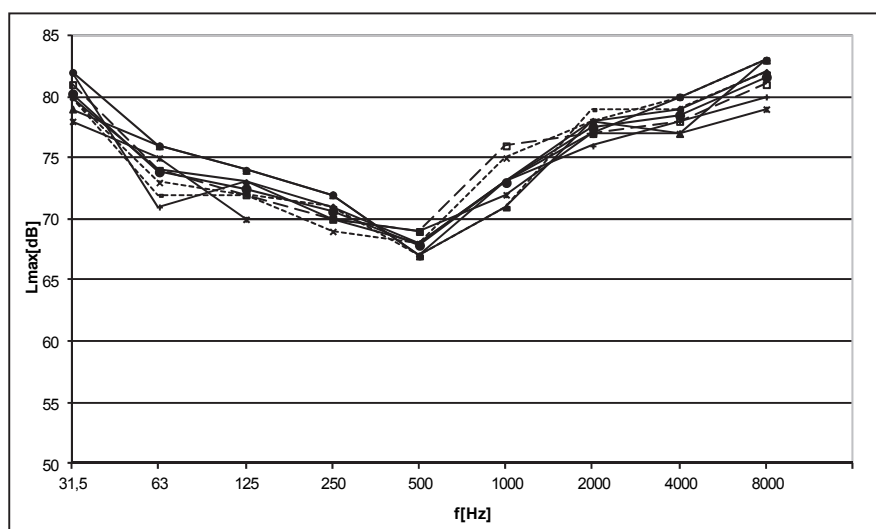
Wykresy maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II w funkcji częstotliwości



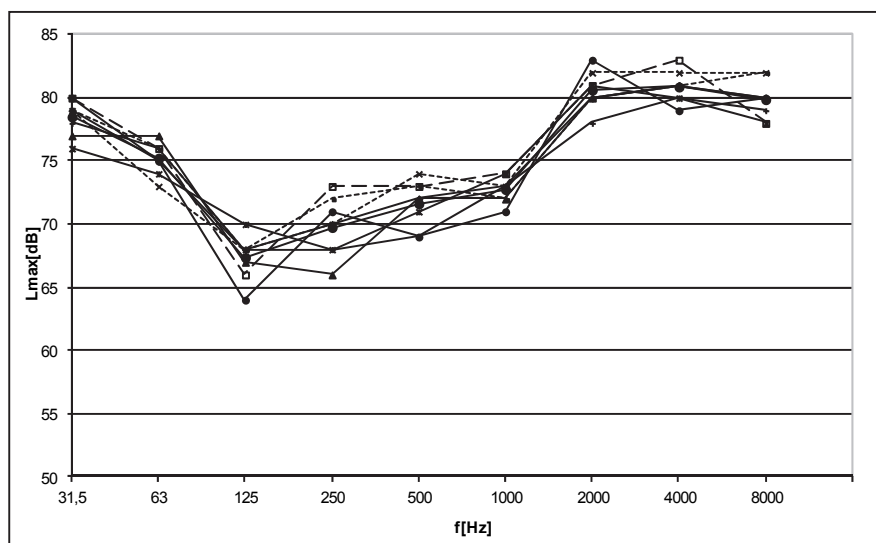
Rys. 30. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 1



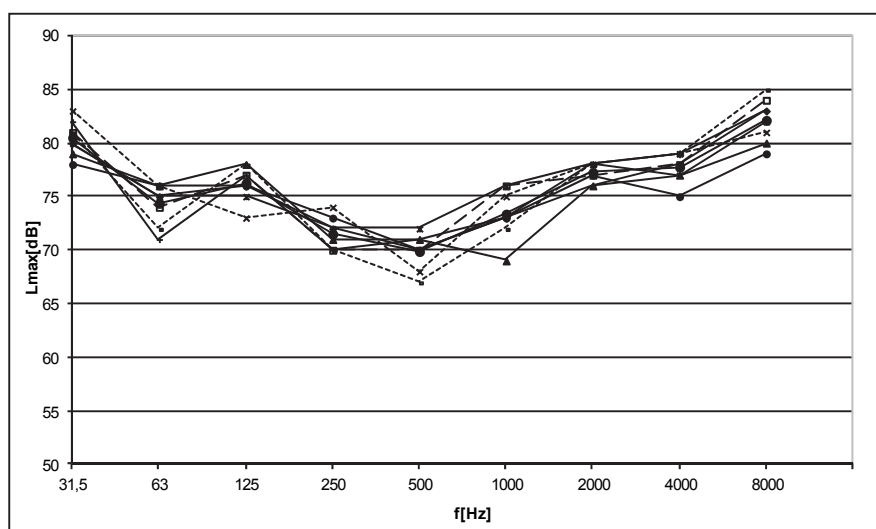
Rys. 31. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 2



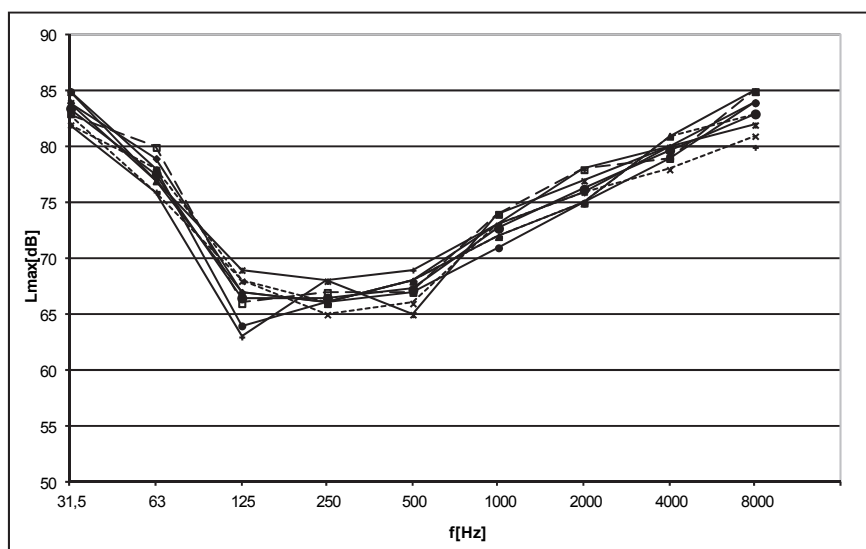
Rys. 32. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranu II zmierzony w p. 3



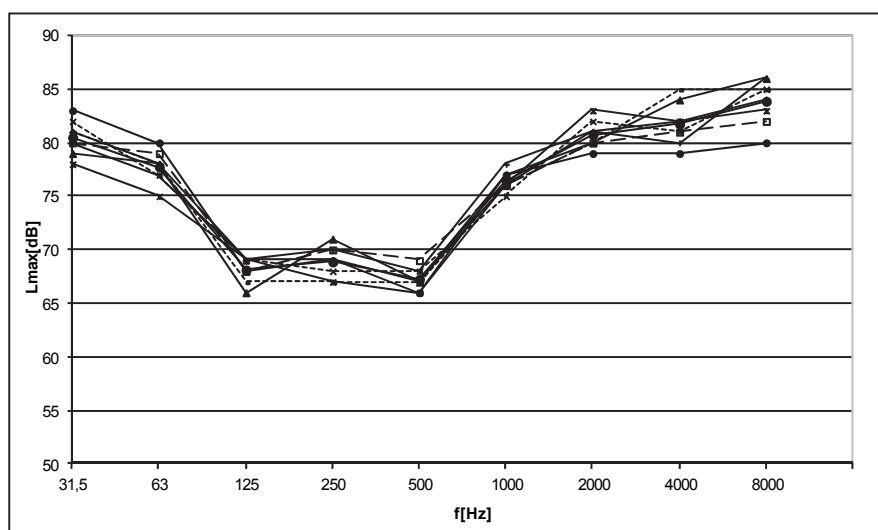
Rys. 33. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 4



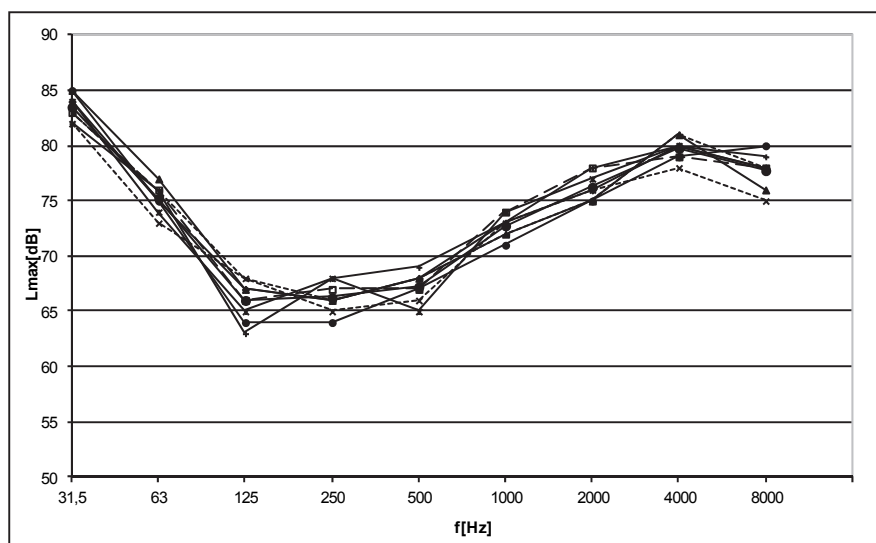
Rys. 34. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 5



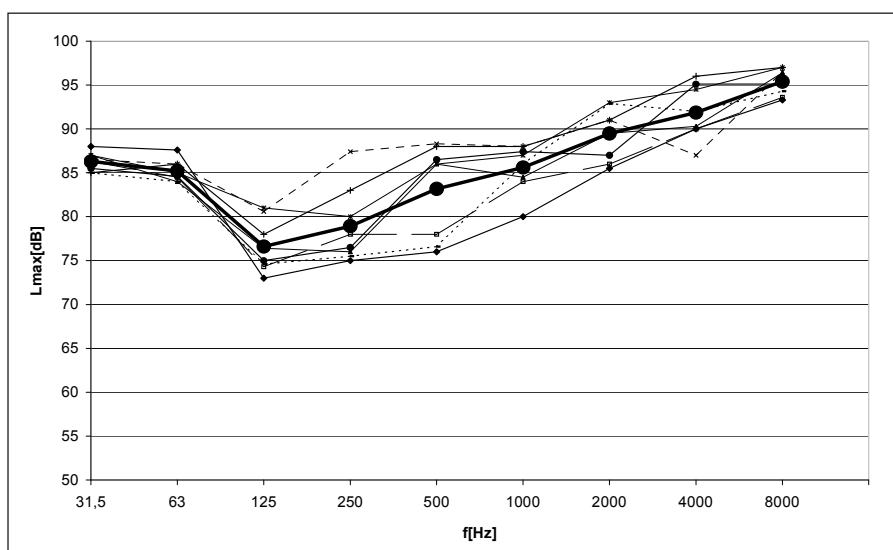
Rys. 35. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 6



Rys. 36. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 7

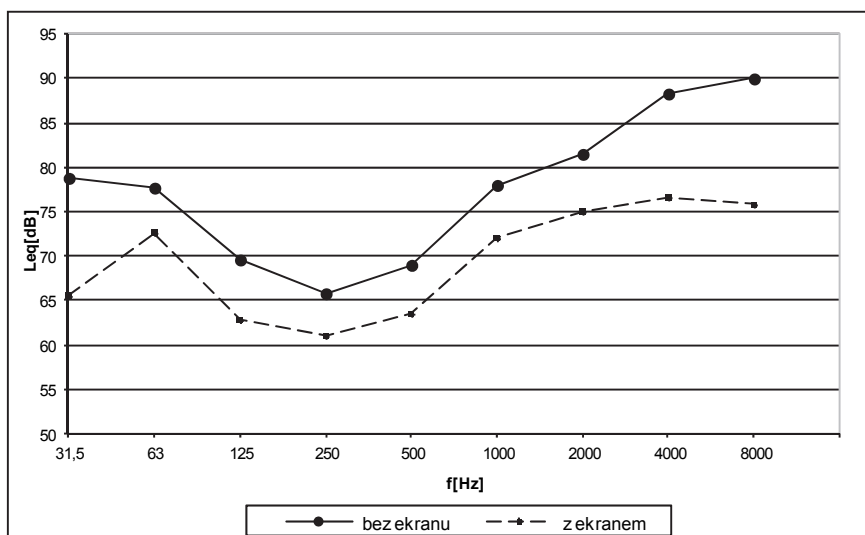


Rys. 37. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II zmierzony w p. 8

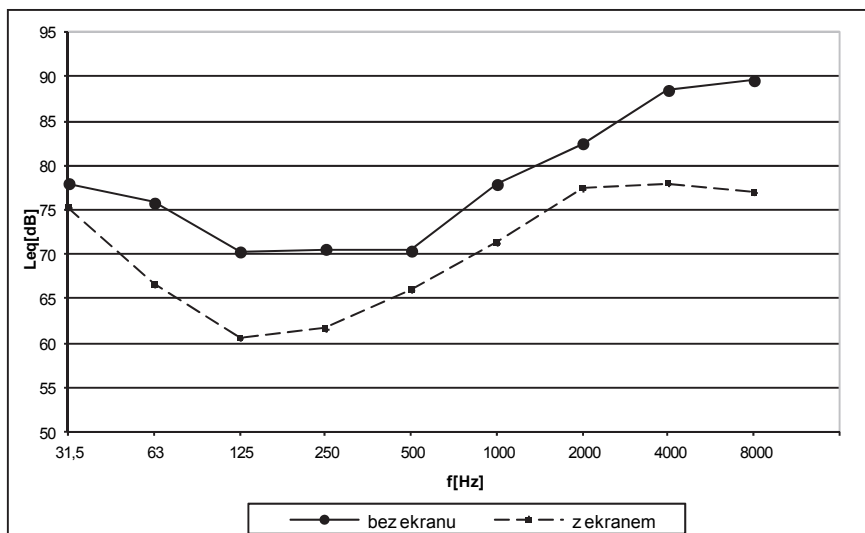


Rys. 38. Uśredniony z p.1-8 maksymalny poziom hałasu emitowany przez piłę A z ekranem II

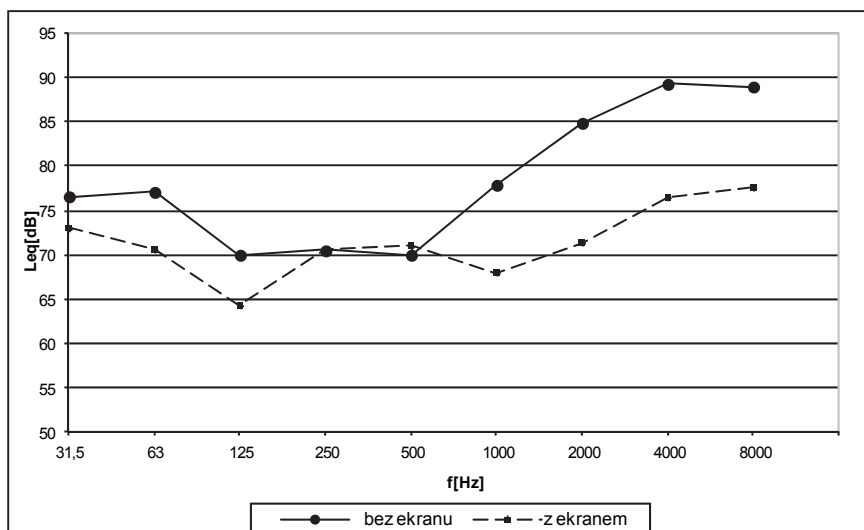
Wykresy obrazujące obniżenie hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu II



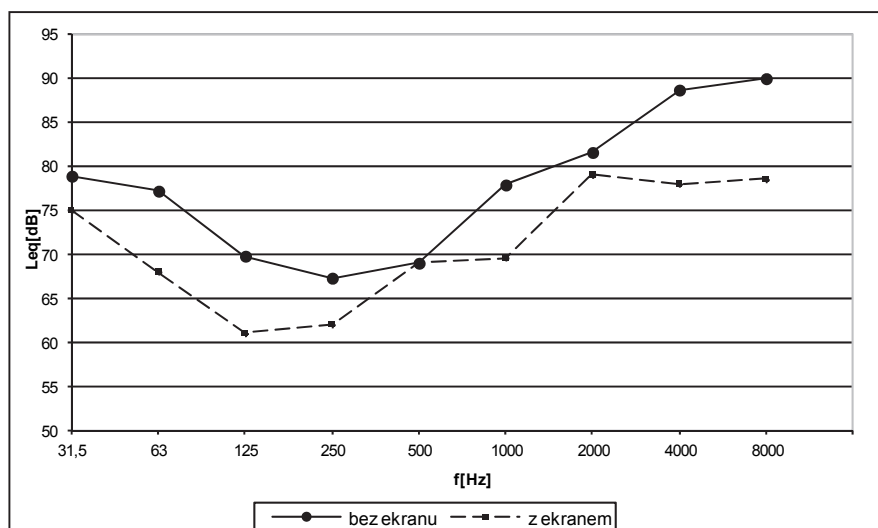
Rys. 39. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 1



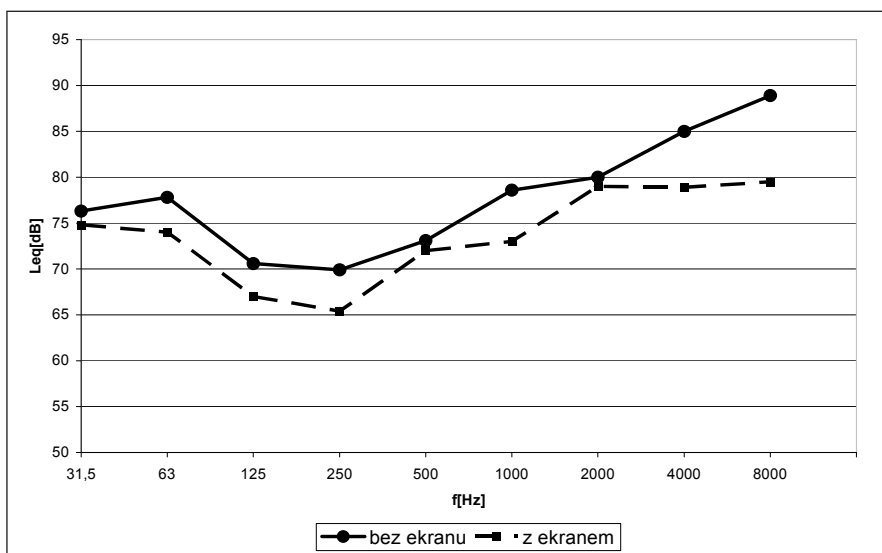
Rys. 40. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 2



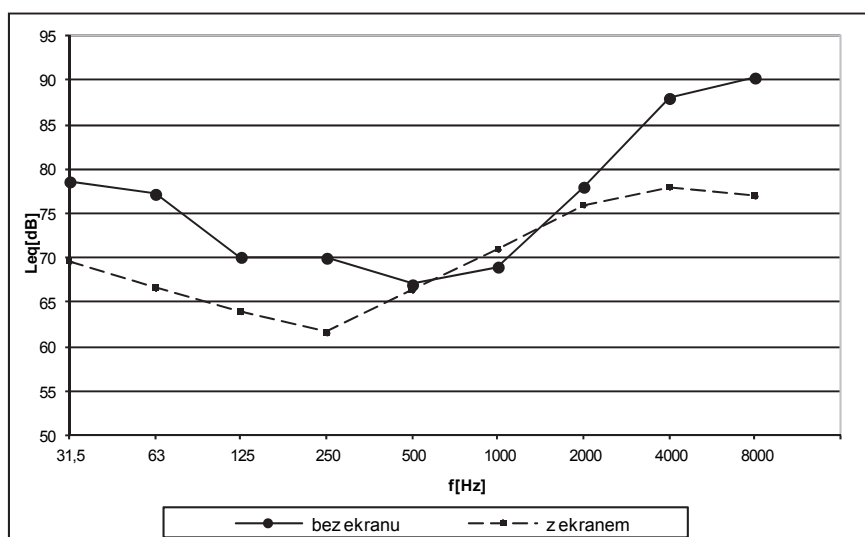
Rys. 41. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 3



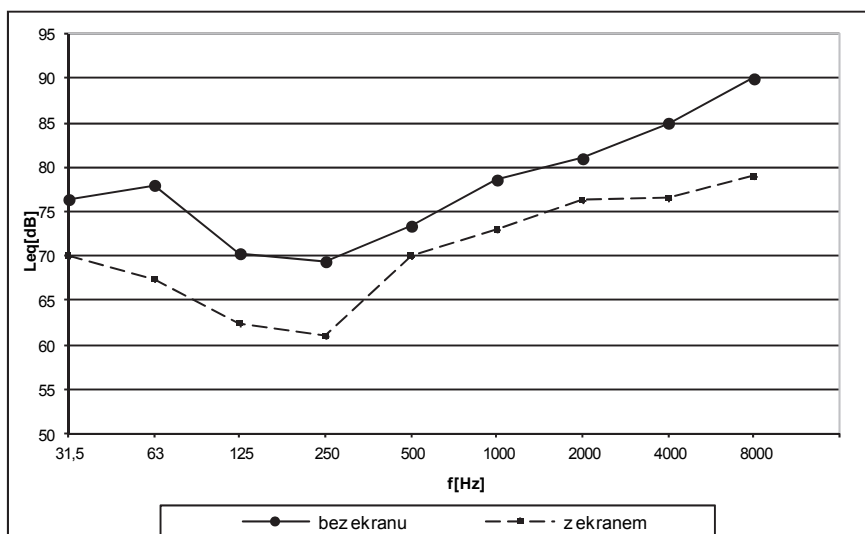
Rys. 42. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 4



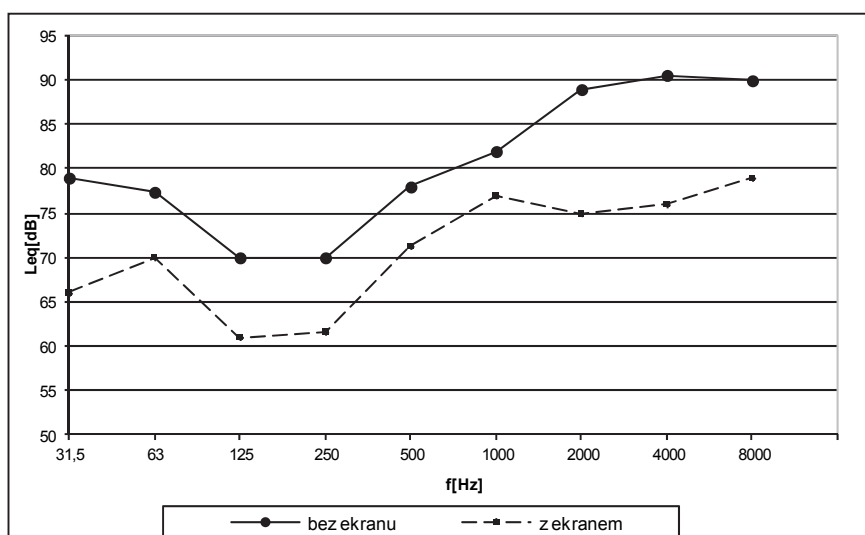
Rys. 43. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 5



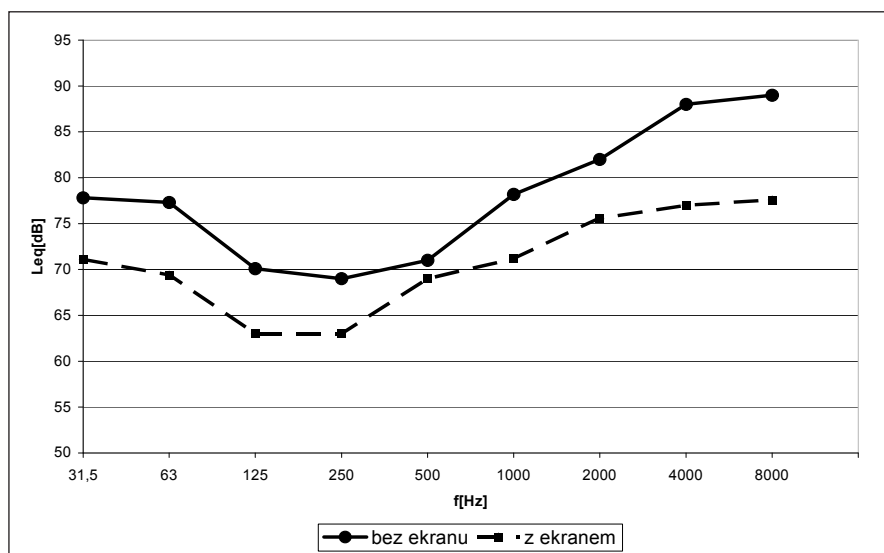
Rys. 44. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 6



Rys. 45. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 7

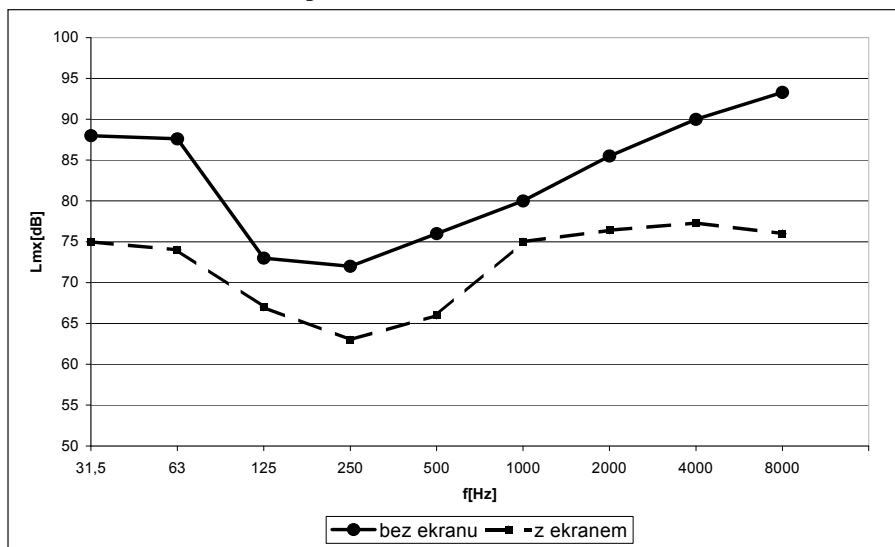


Rys. 46. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 8

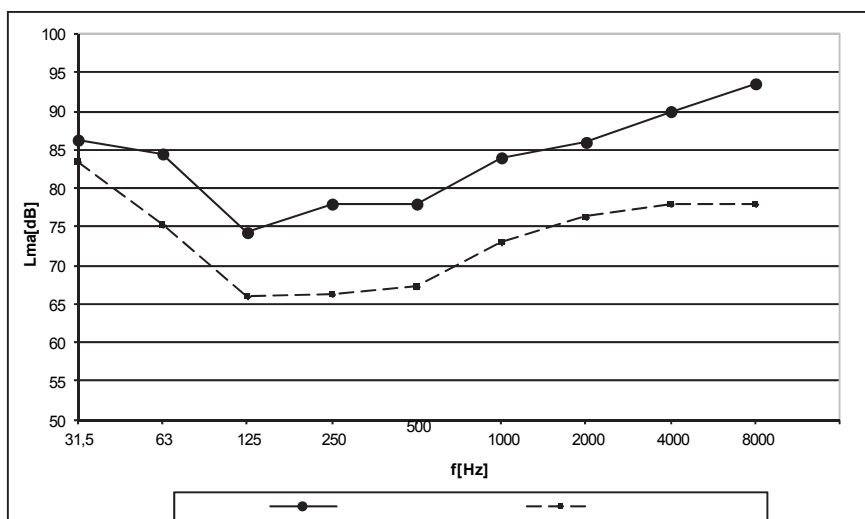


Rys. 47. Uśredniony, dla punktów 1-8, poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez i z ekranem II

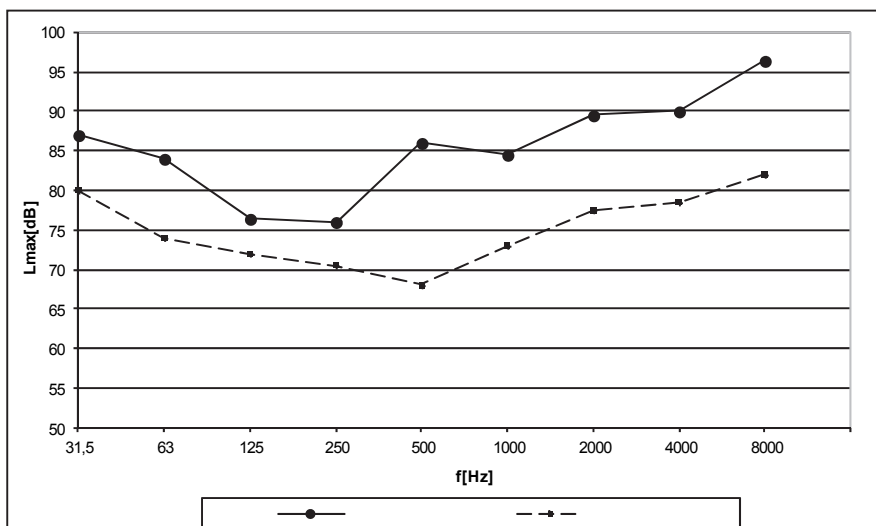
Wykresy obrazujące obniżenie hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu II



Rys. 48. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 1

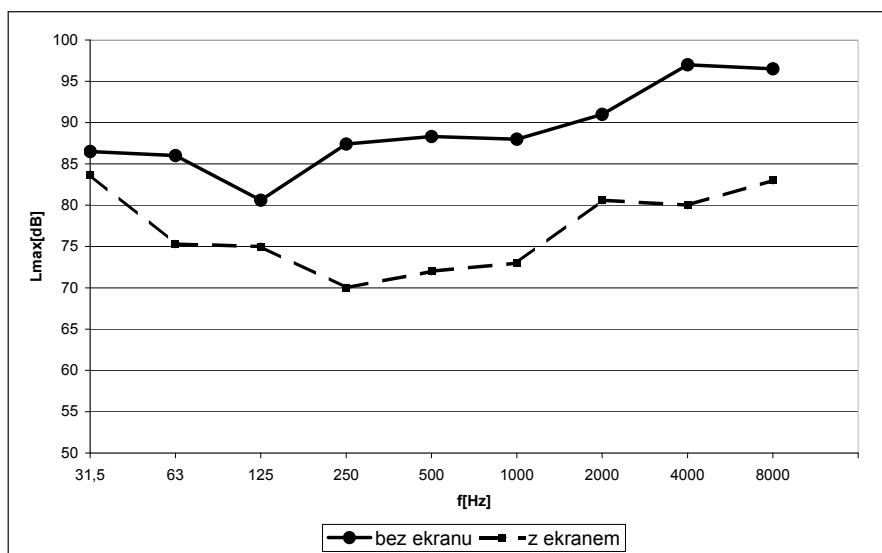


Rys. 49. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II I p. 2

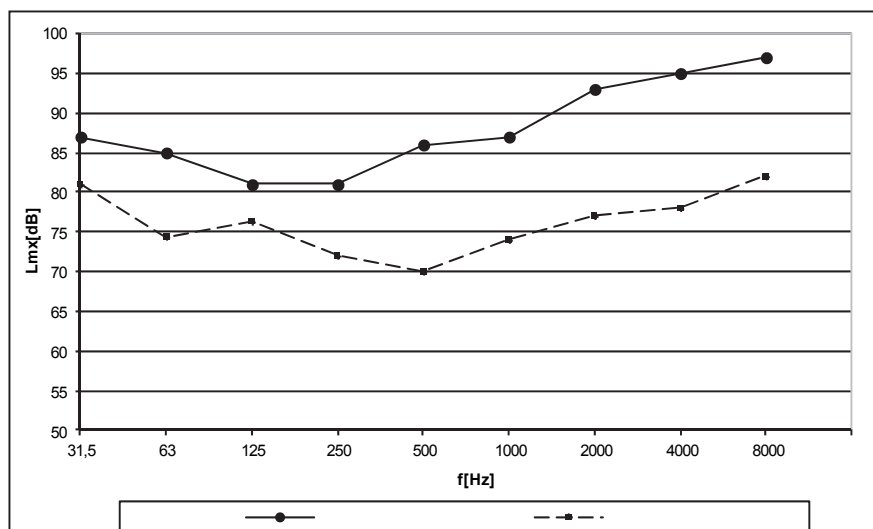


Rys. 50. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 3

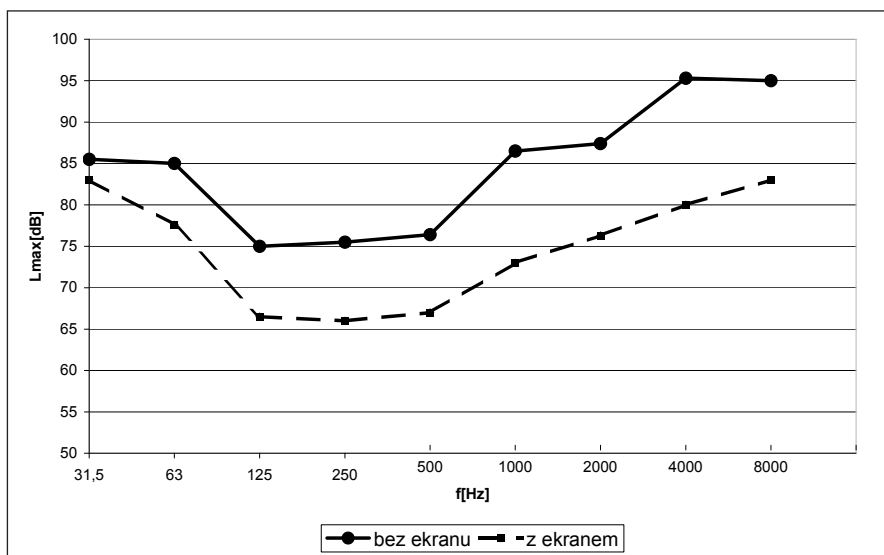
A



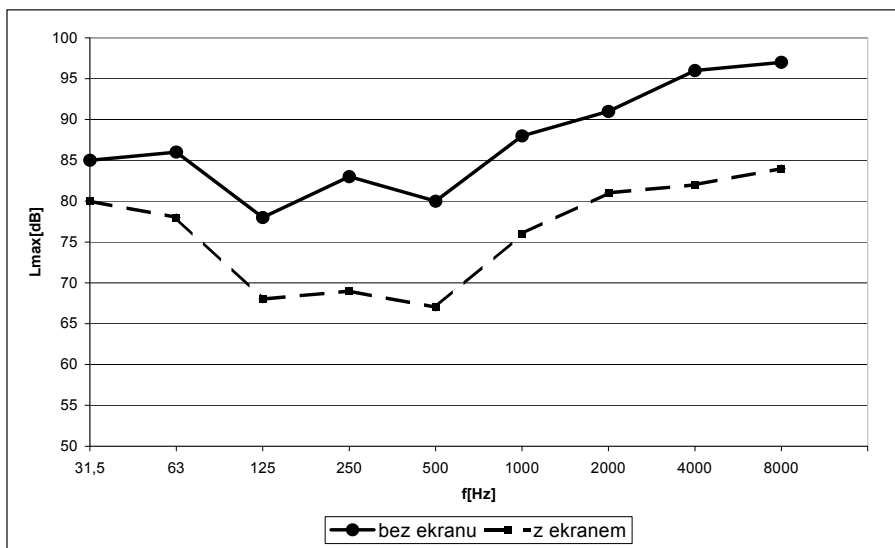
Rys. 51. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 4



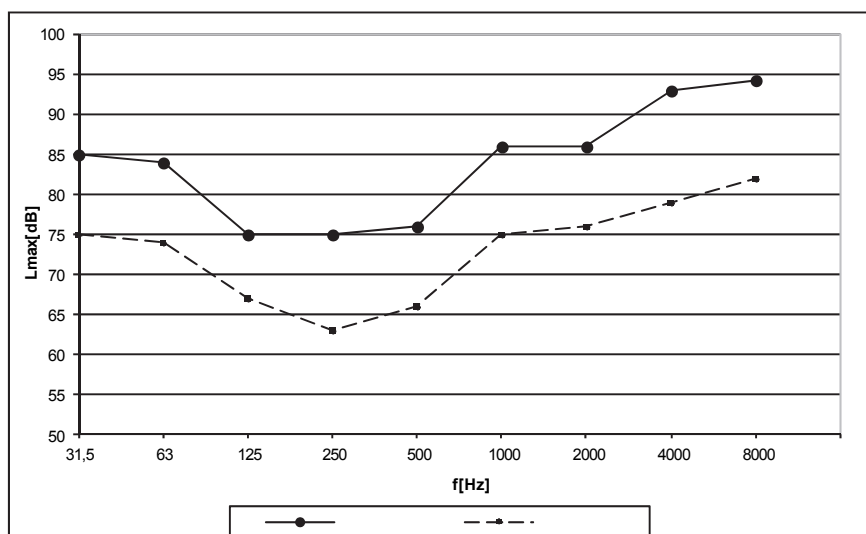
Rys. 52. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 5



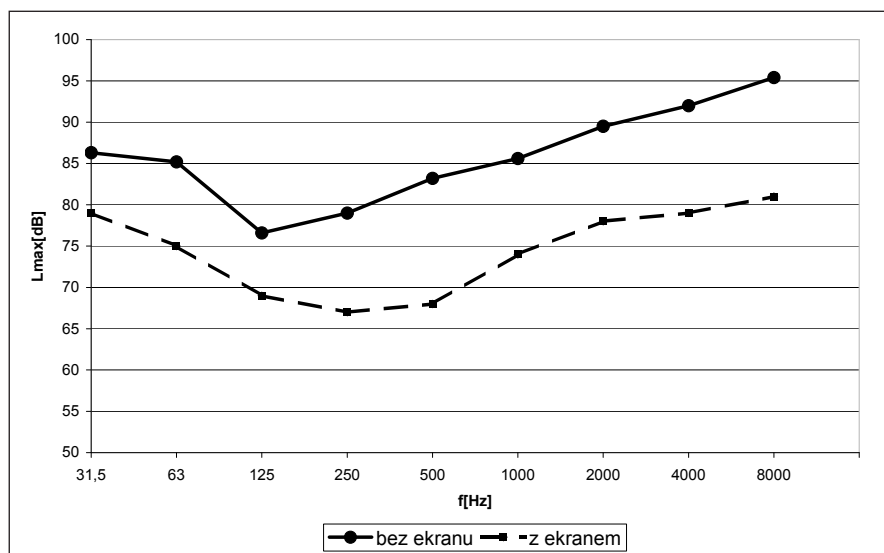
Rys. 53. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 6



Rys. 54. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 7

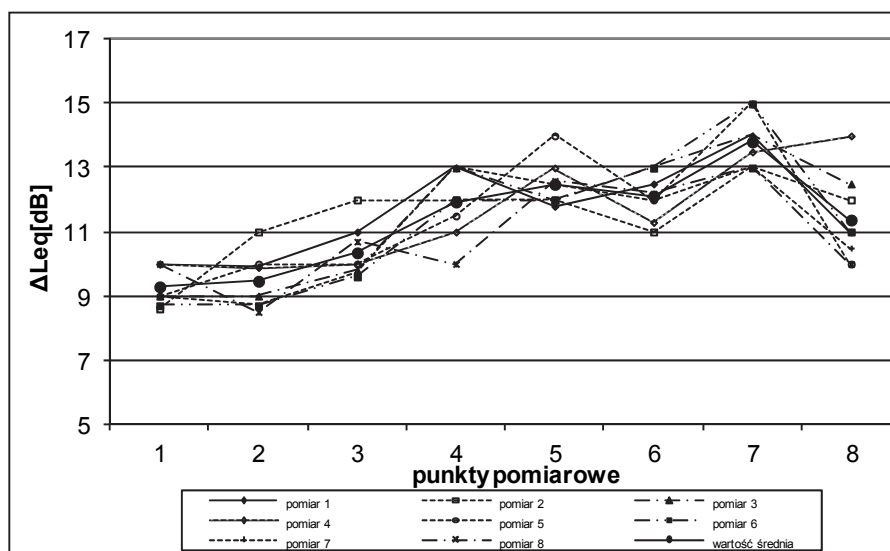


Rys. 55. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem II p. 8

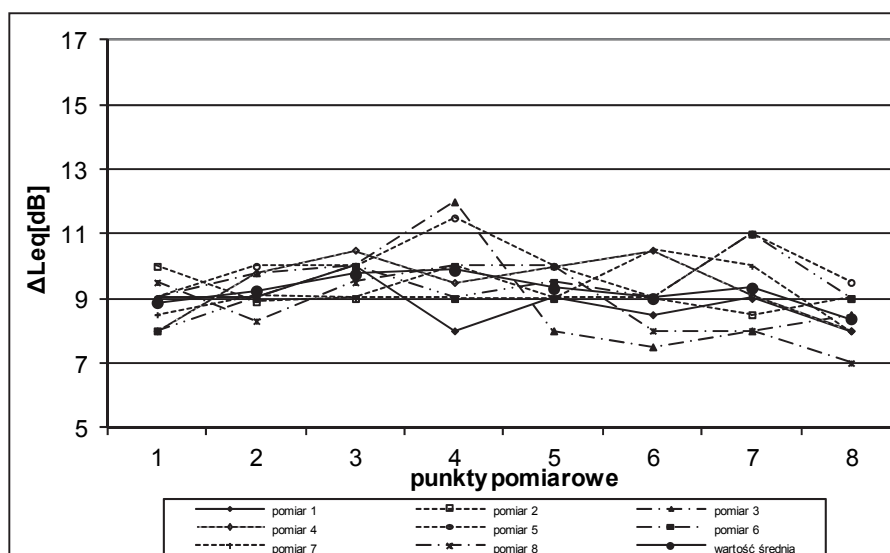


Rys. 56. Uśredniony, dla punktów 1-8, maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez i z ekranem II

Wykresy obrazujące obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu II

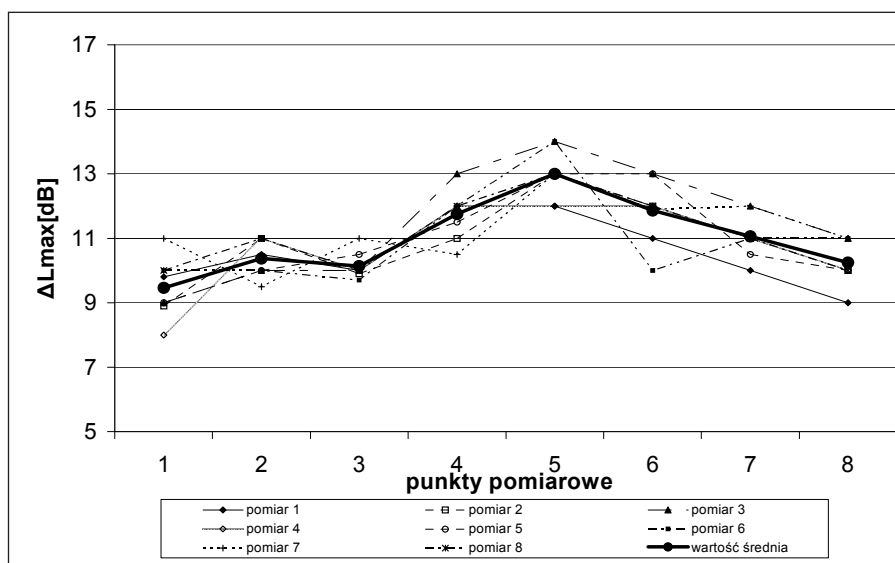


Rys. 57. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II

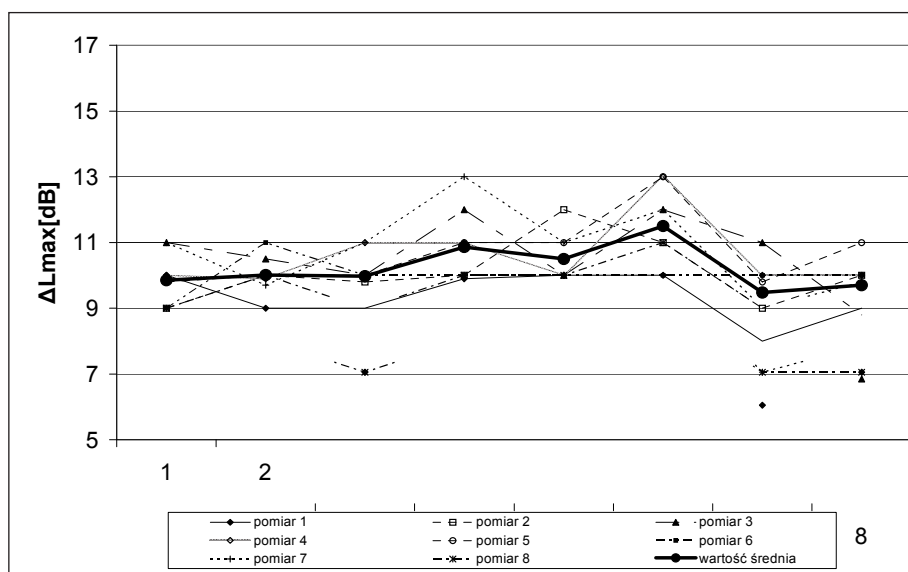


Rys. 58. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II – skrzydło odchylone o 45°

Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu II

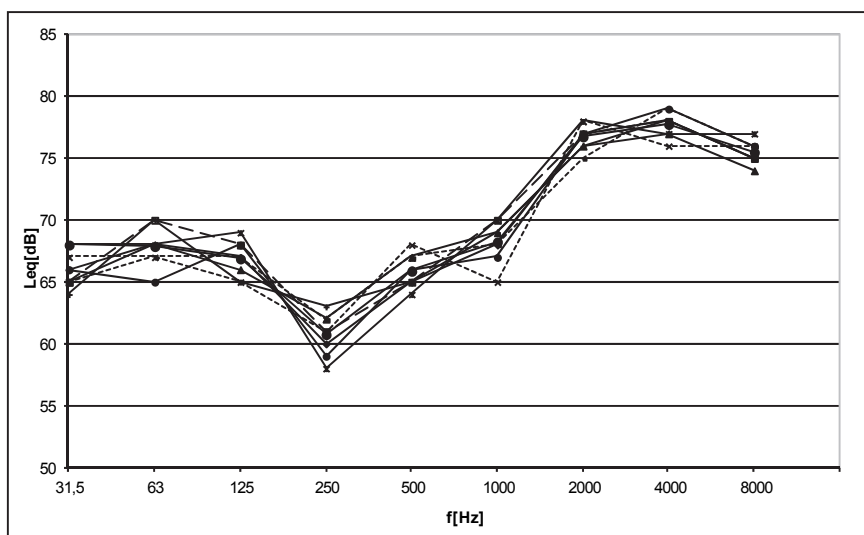


Rys. 59. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II

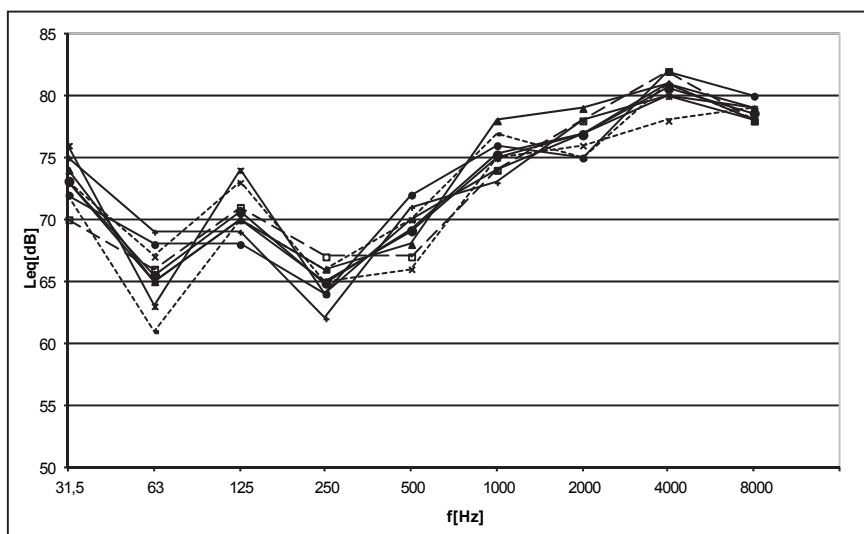


Rys. 60. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu II – skrzydło odchylone o 45°

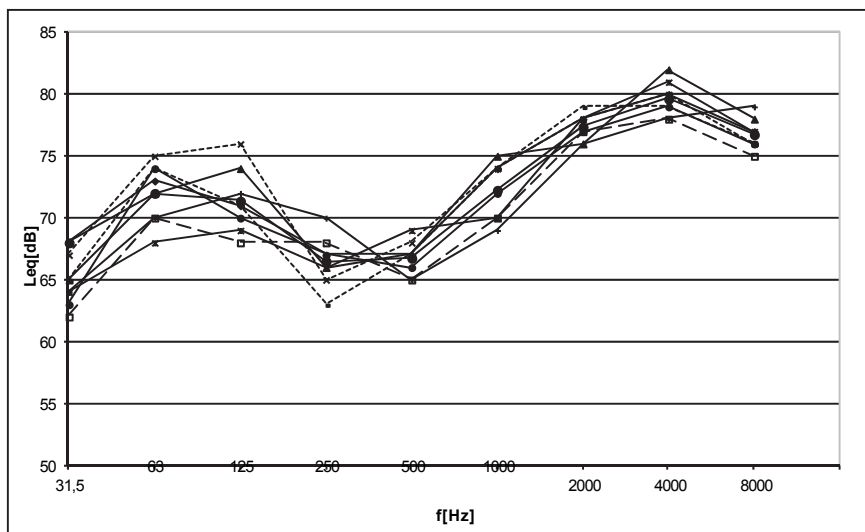
**Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu
III w funkcji częstotliwości**



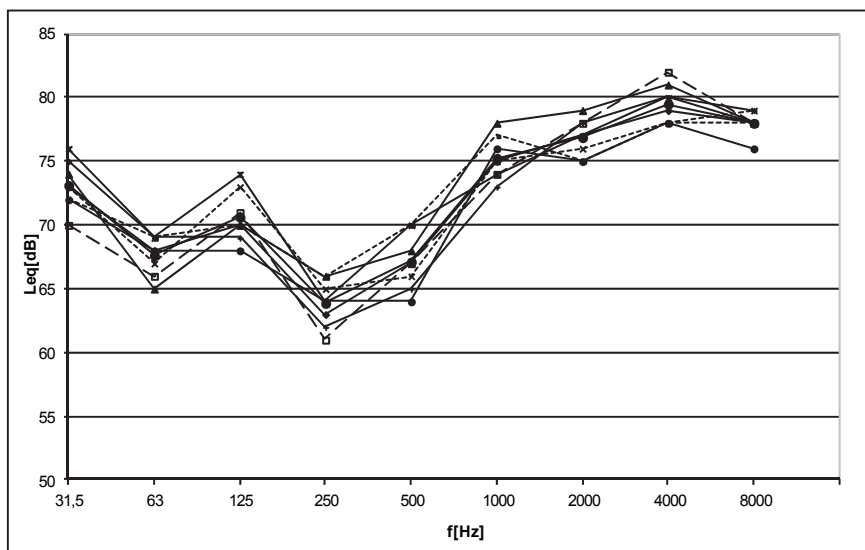
Rys. 61. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 1



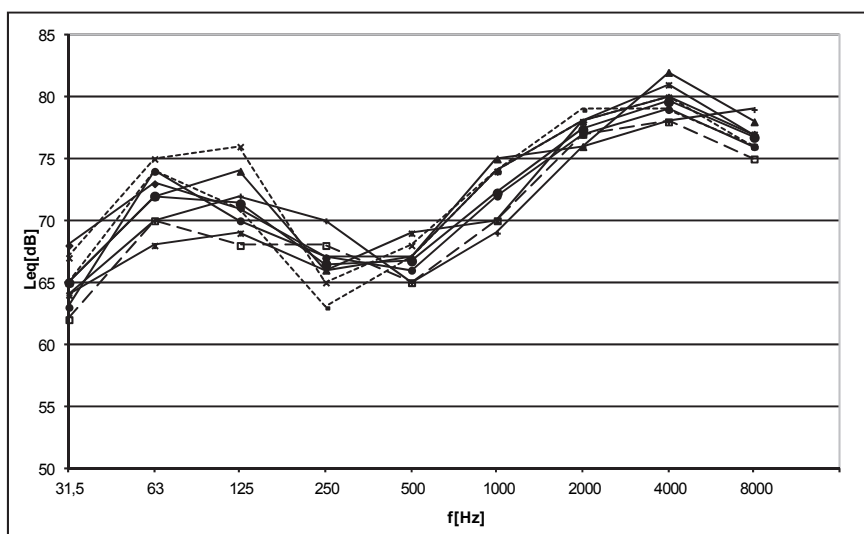
Rys. 62. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 2



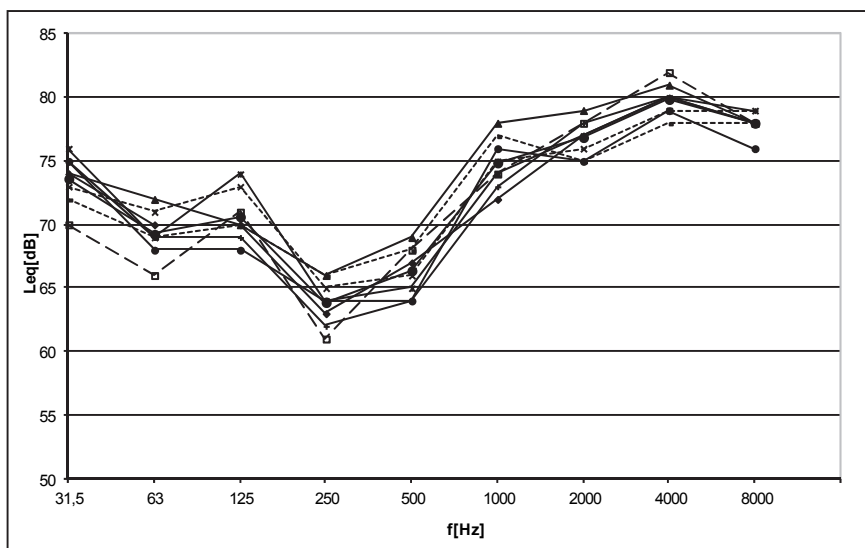
Rys. 63. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 3



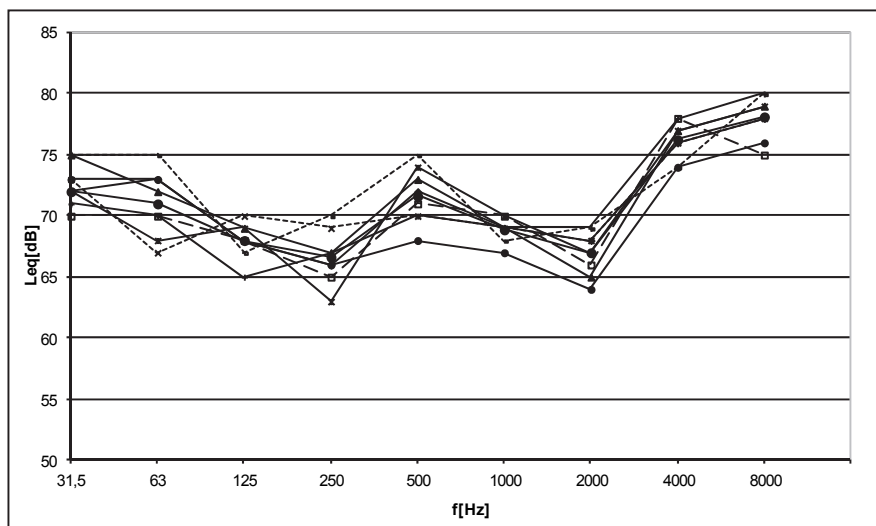
Rys. 64. Poziom hałasu emitowanego przez piłę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 4



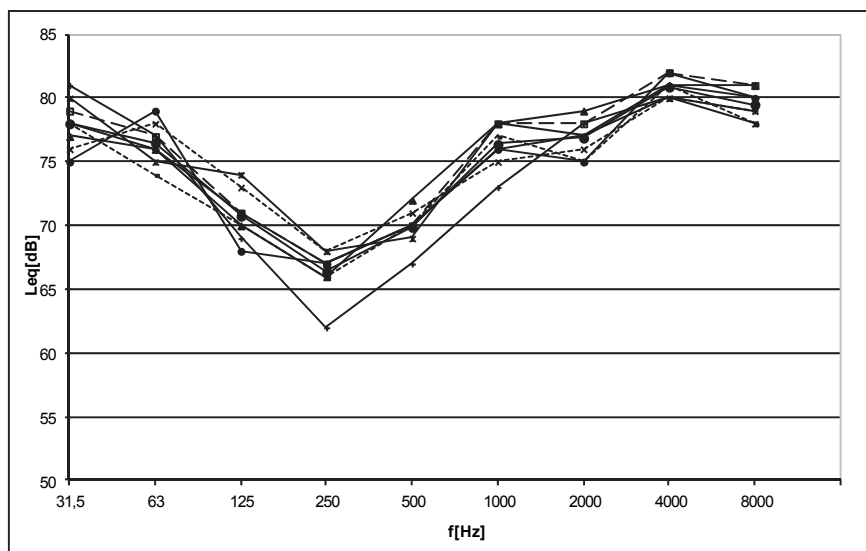
Rys. 65. Poziom hałas emitowany przez pilę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 5



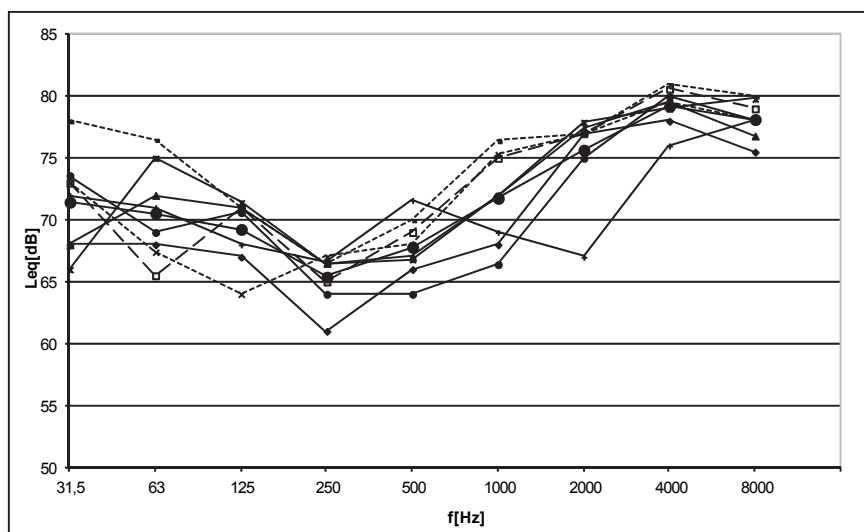
Rys. 66. Poziom hałas emitowany przez pilę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 6



Rys. 67. Poziom hałas emitowany przez piłę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 7

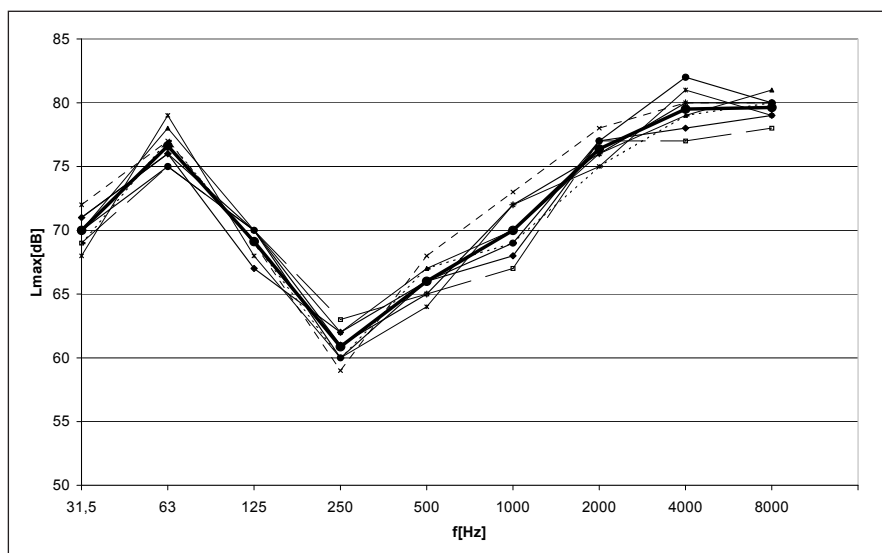


Rys. 68. Poziom hałas emitowany przez piłę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 8

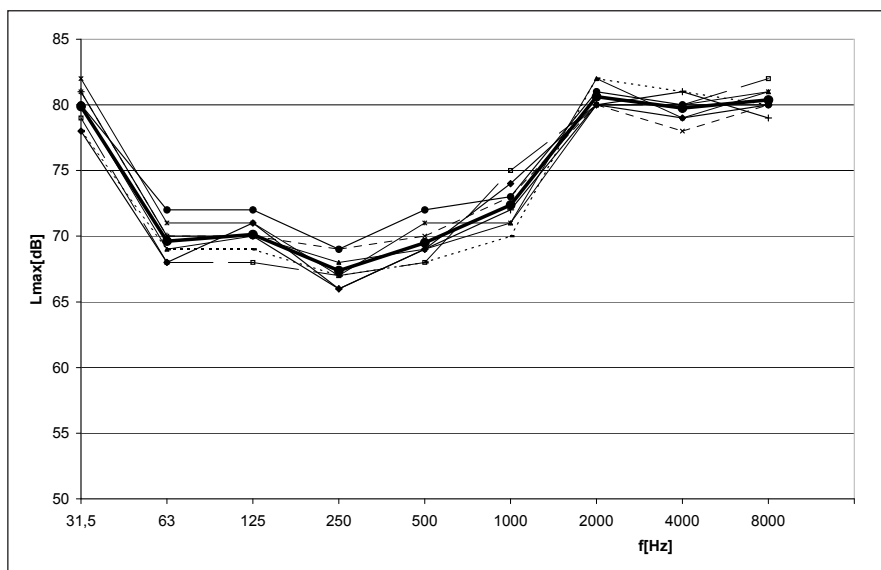


Rys. 69. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu III

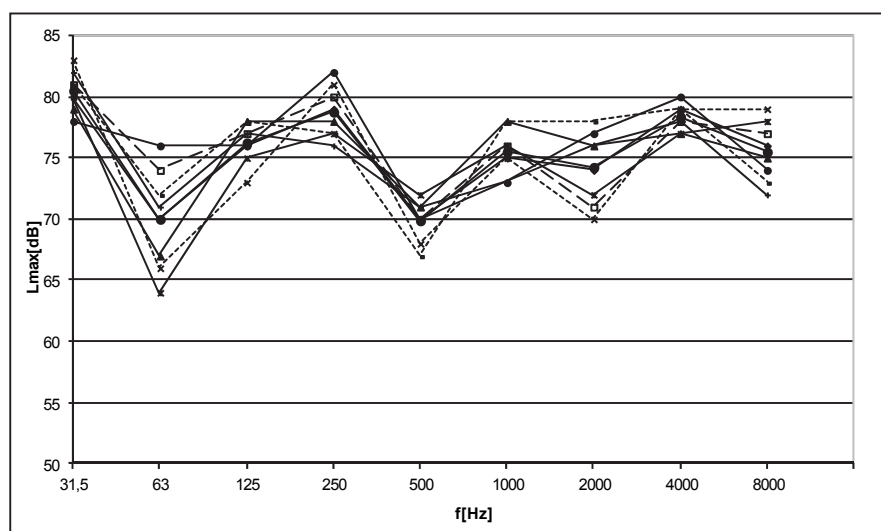
Wykresy maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez pilę A z zastosowaniem ekranu III w funkcji częstotliwości



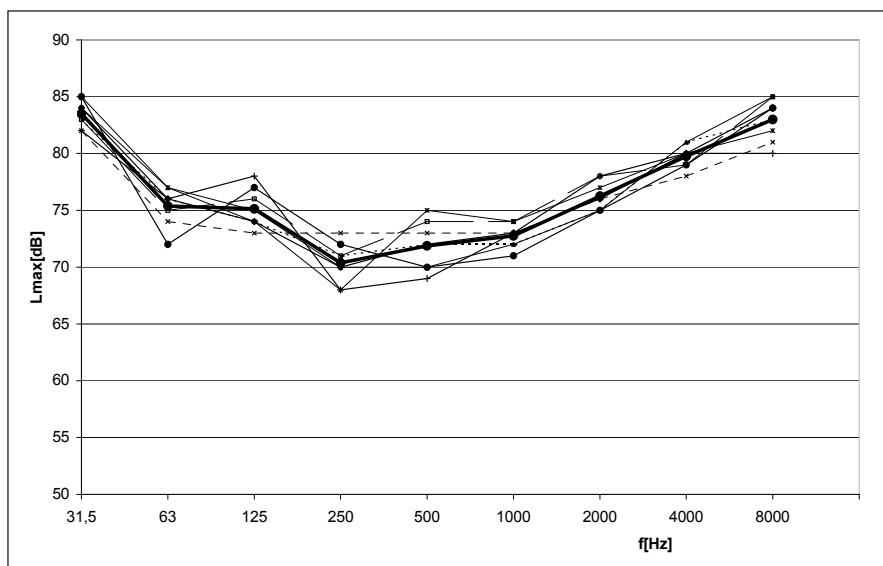
Rys. 70. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez pilę A z zastosowaniem ekranu III, zmierzony w p. 1



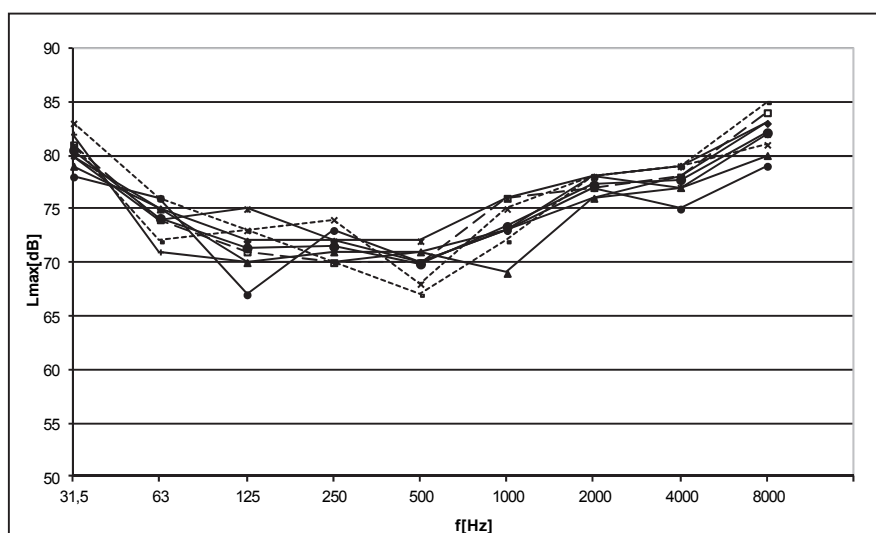
Rys. 71. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 2



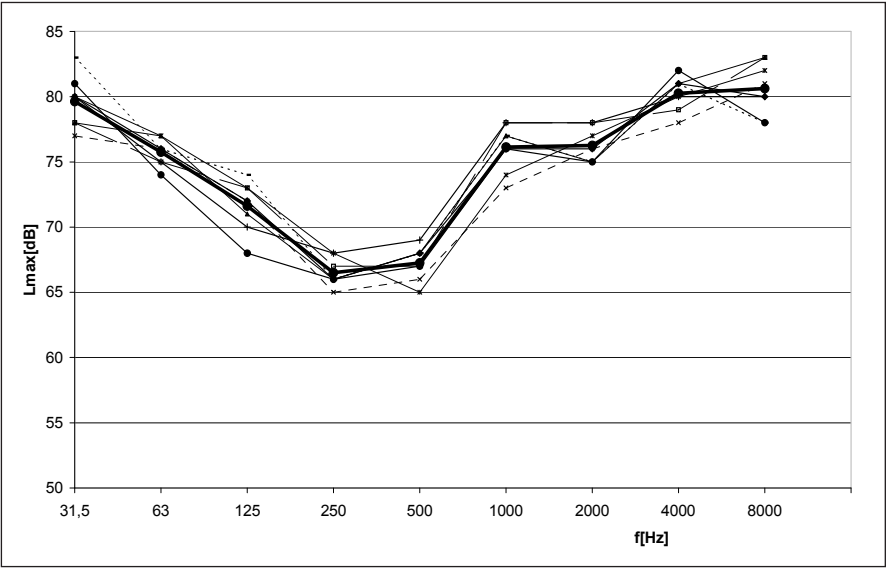
Rys. 72. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 3



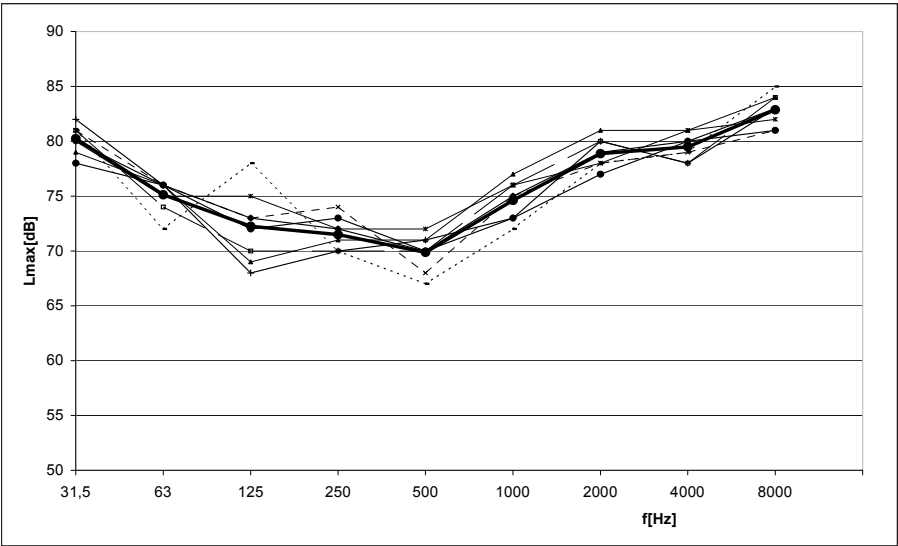
Rys. 73. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 4



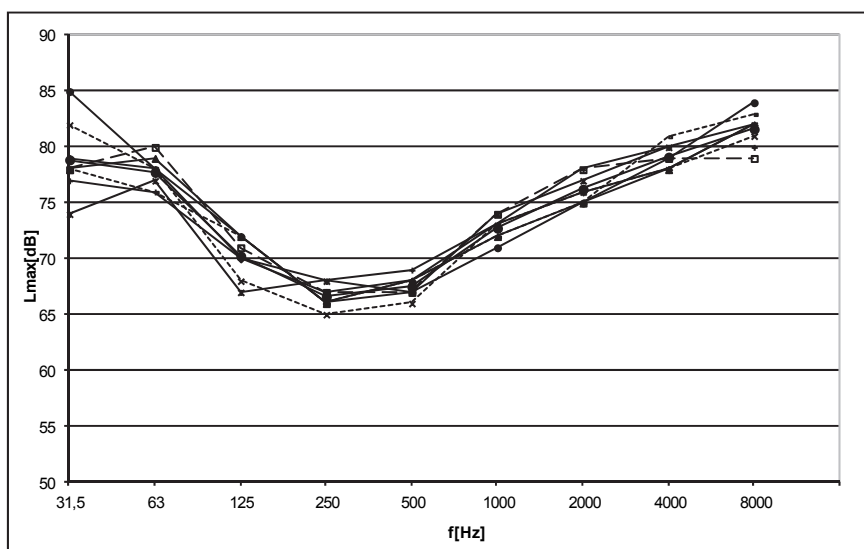
Rys. 74. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 5



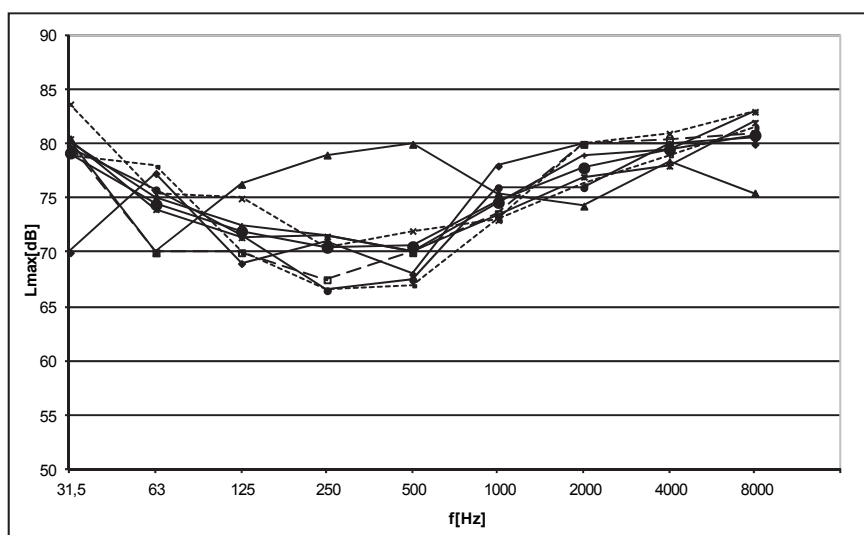
Rys. 75. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 6



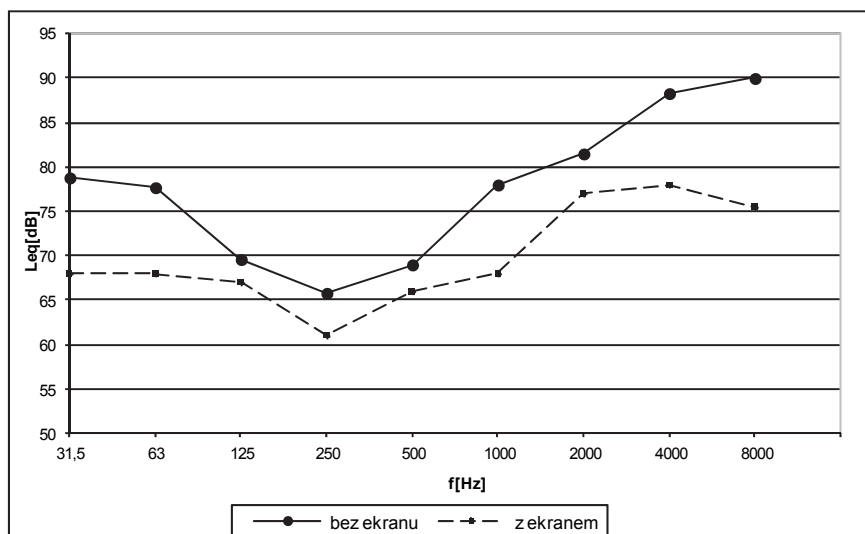
Rys. 76. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 7



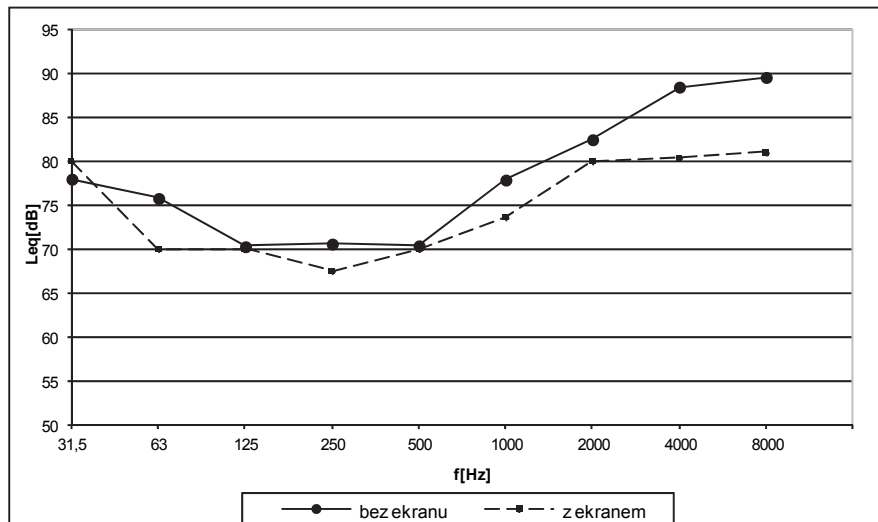
Rys. 77. Maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III, zmierzony w p. 8



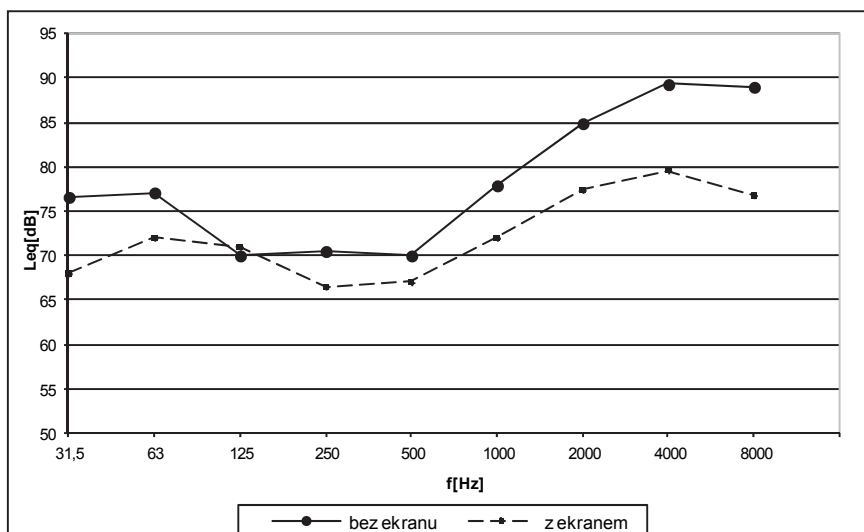
Rys. 78. Uśredniony maksymalny poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu III

Wykresy obrazujące obniżenie hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu III

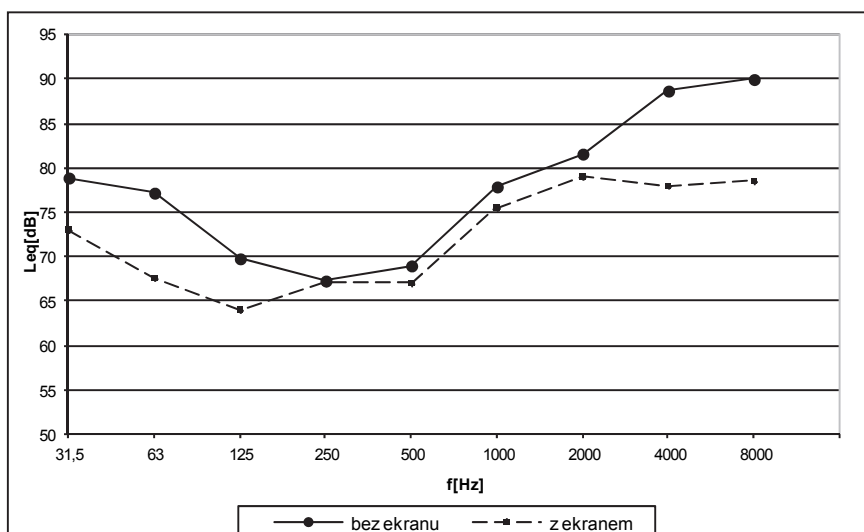
Rys. 79. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 1



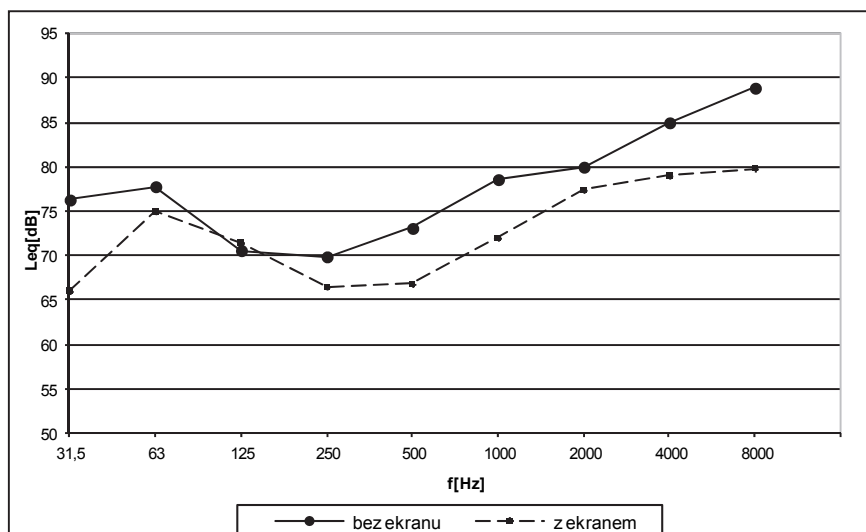
Rys. 80. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 2



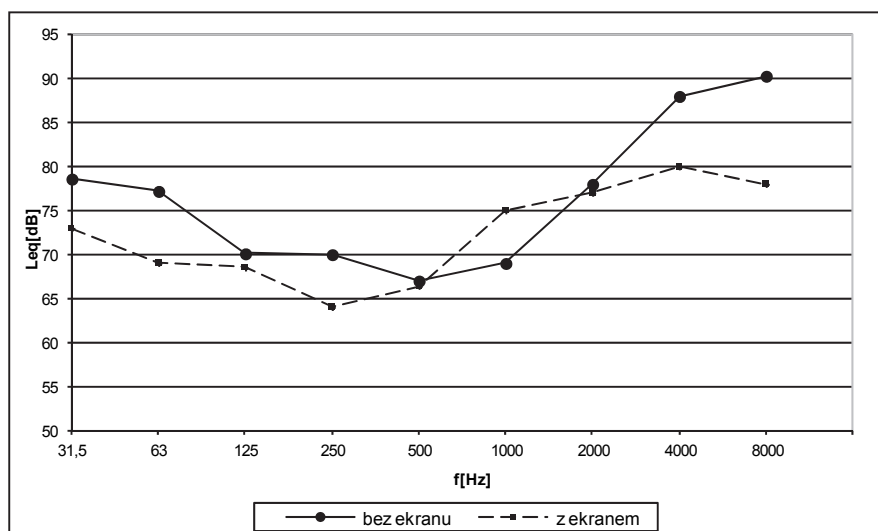
Rys. 81. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 3



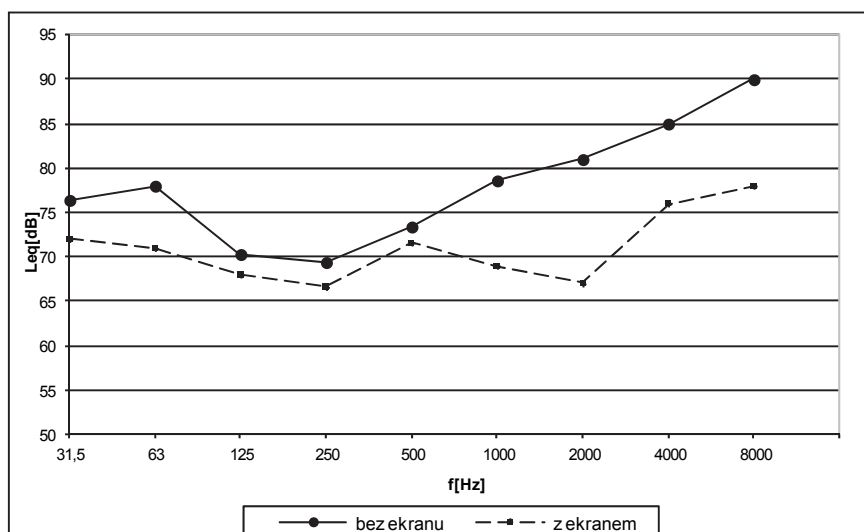
Rys. 82. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 4



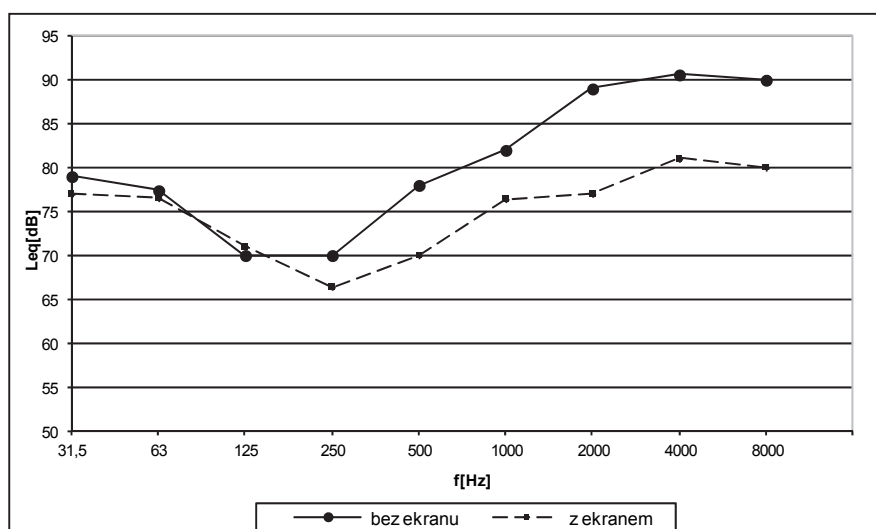
Rys. 83. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 5



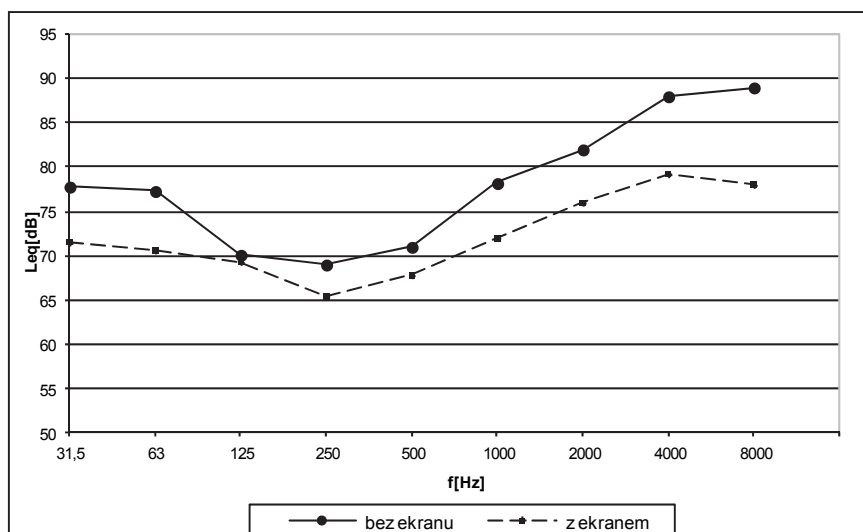
Rys. 84. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 6



Rys. 85. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 7

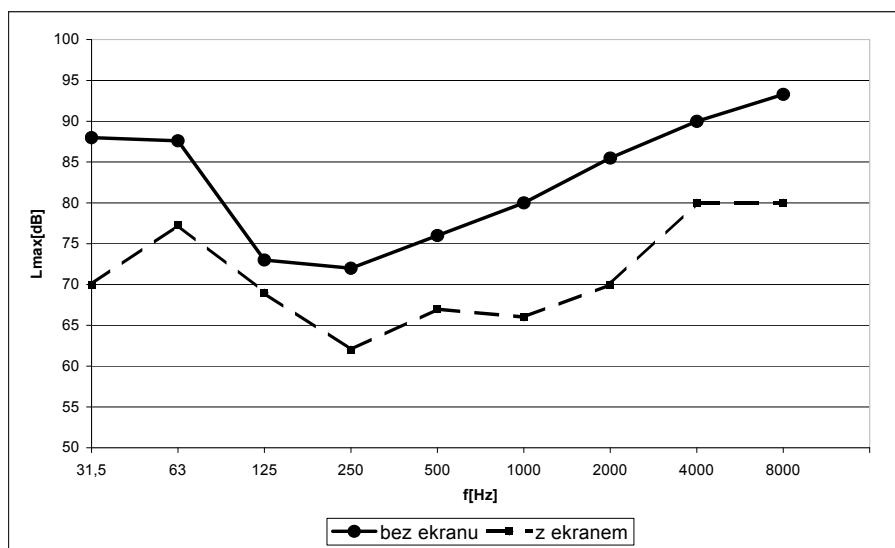


Rys. 86. Obraz obniżenia hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 8

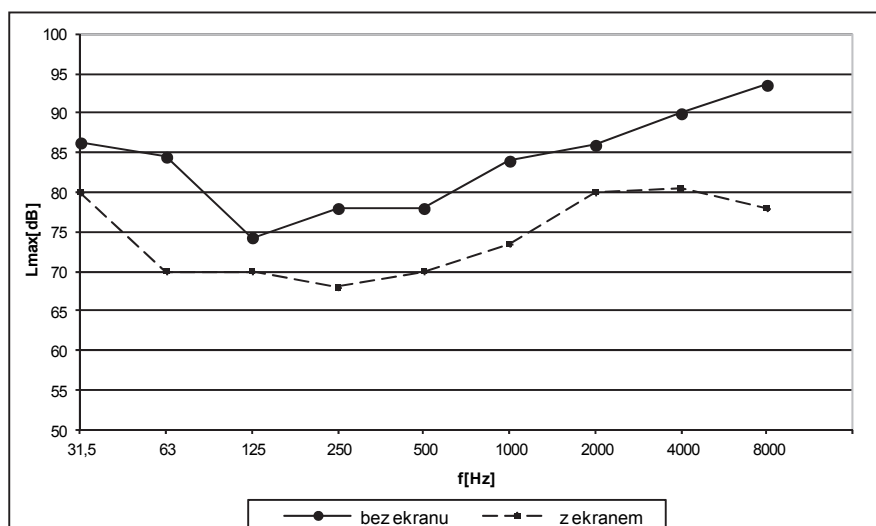


Rys. 87. Uśredniony, dla wszystkich punktów, poziom hałasu piły A bez i z ekranem III

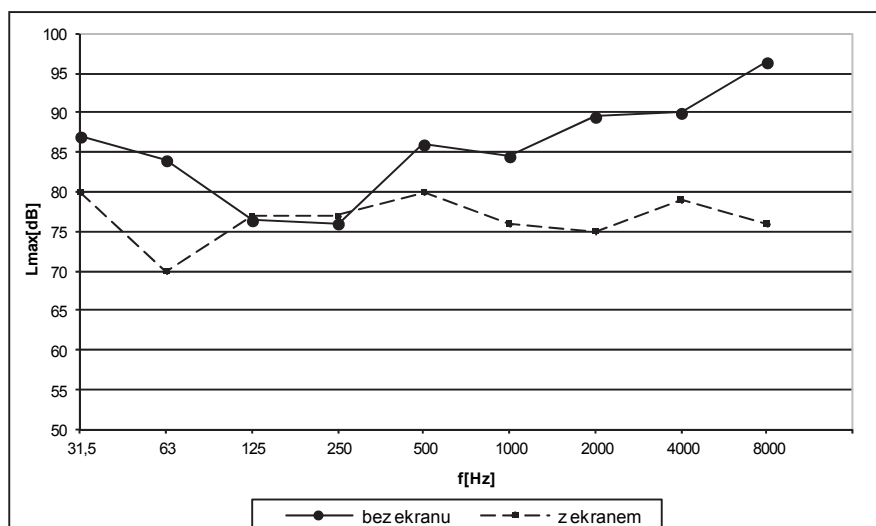
Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego hałasu emitowanego podczas pracy piły A po zastosowaniu ekranu III



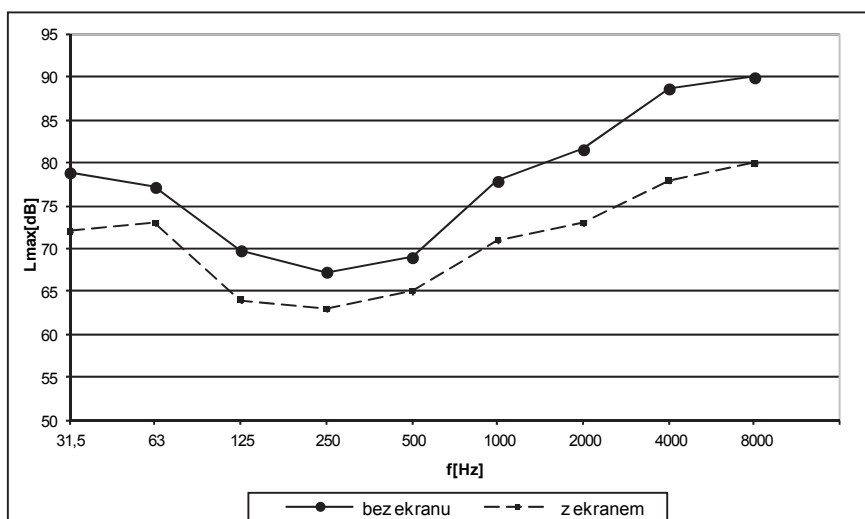
Rys. 88. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 1



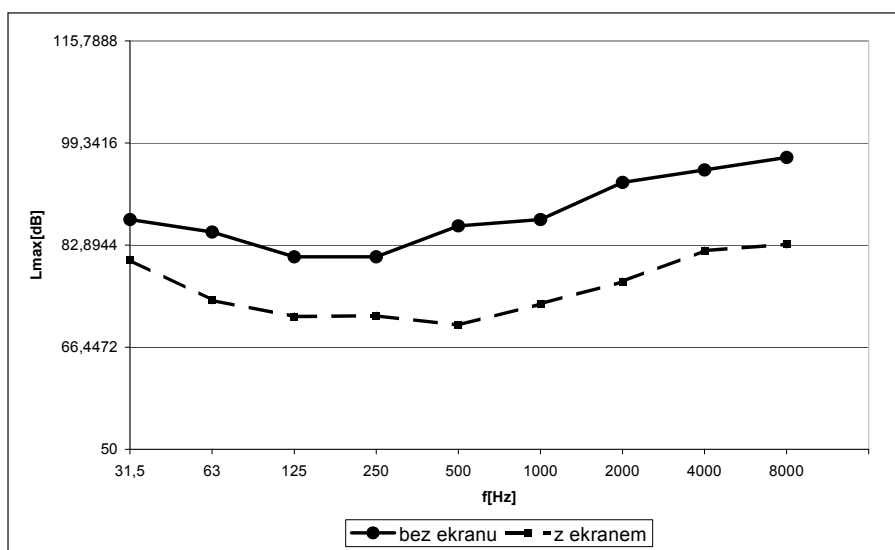
Rys. 89. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 2



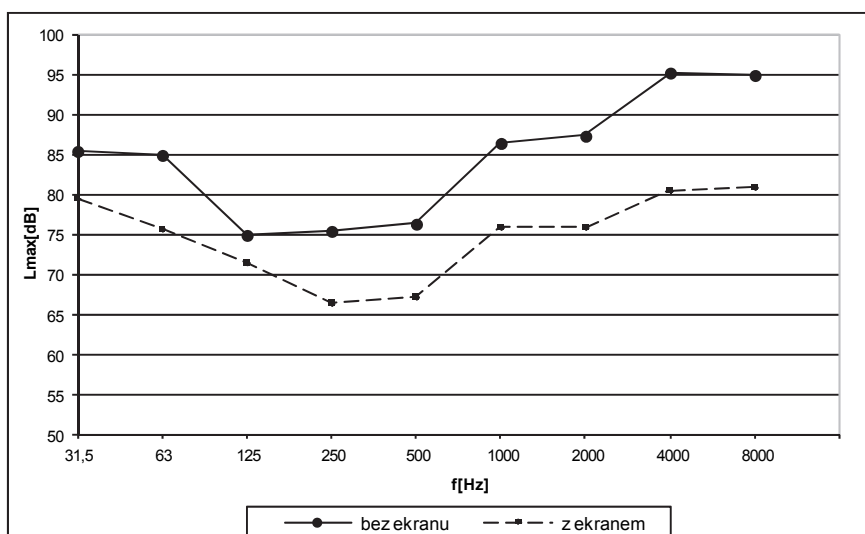
Rys. 90. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 3



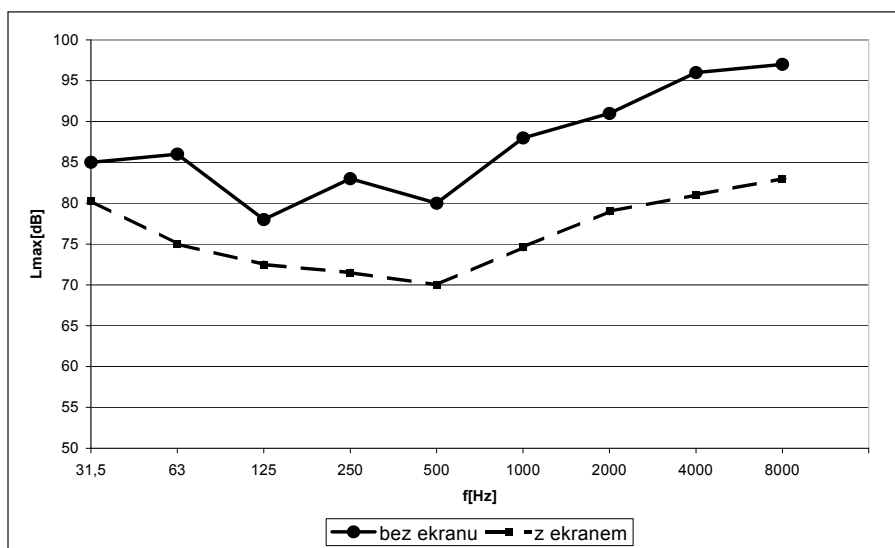
Rys. 91. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 4



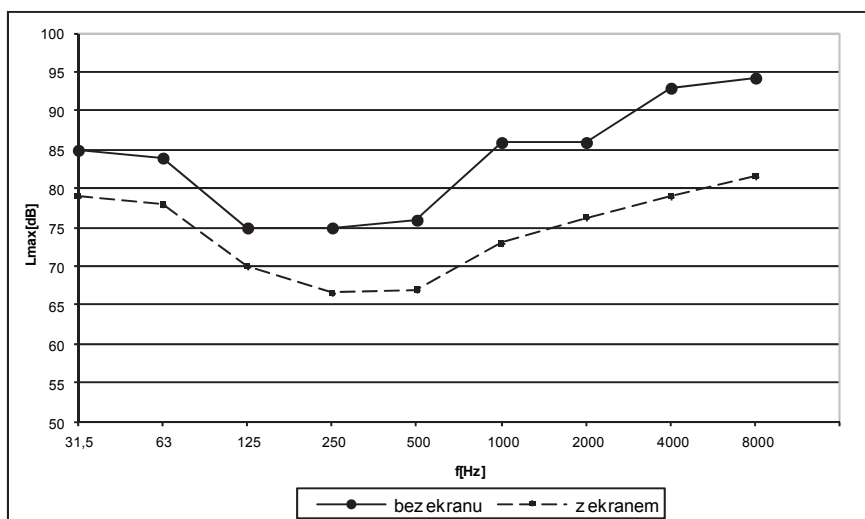
Rys. 92. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 5



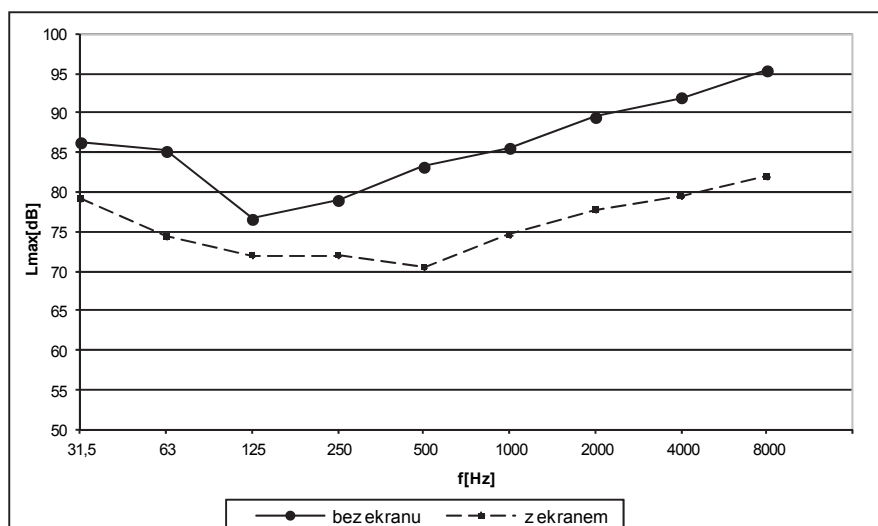
Rys. 93. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 6



Rys. 94. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 7

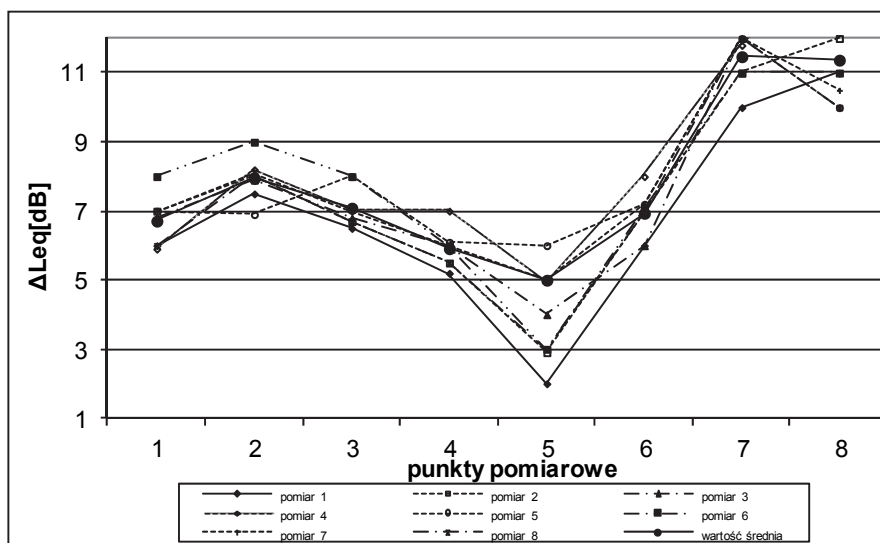


Rys. 95. Obraz obniżenia maksymalnego hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem III p. 8

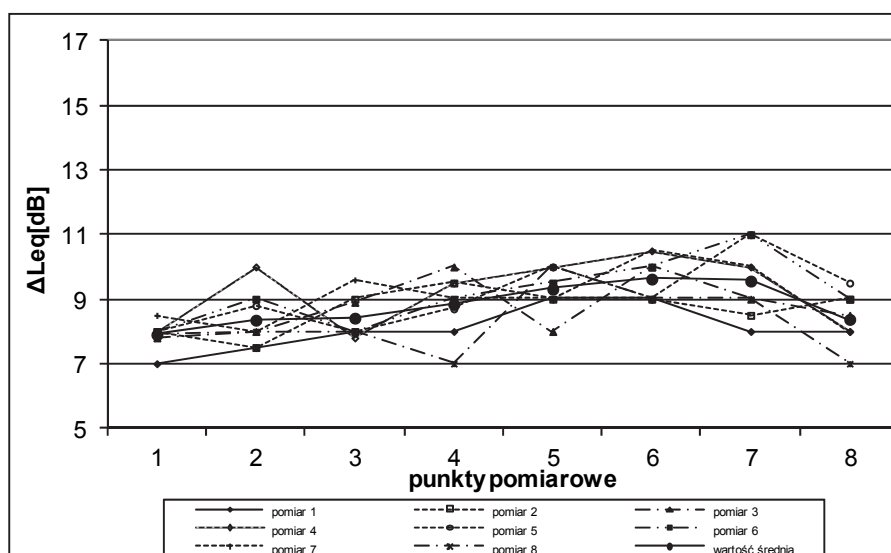


Rys. 96. Uśredniony, dla wszystkich punktów, maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę A bez i z ekranem III

Wykresy obrazujące obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu III

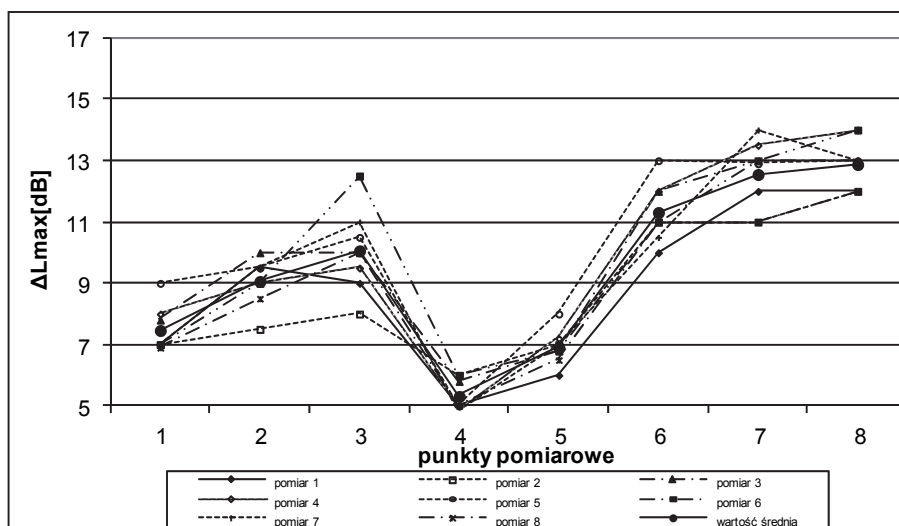


Rys. 97. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez pilę A poprzez zastosowanie ekranu III

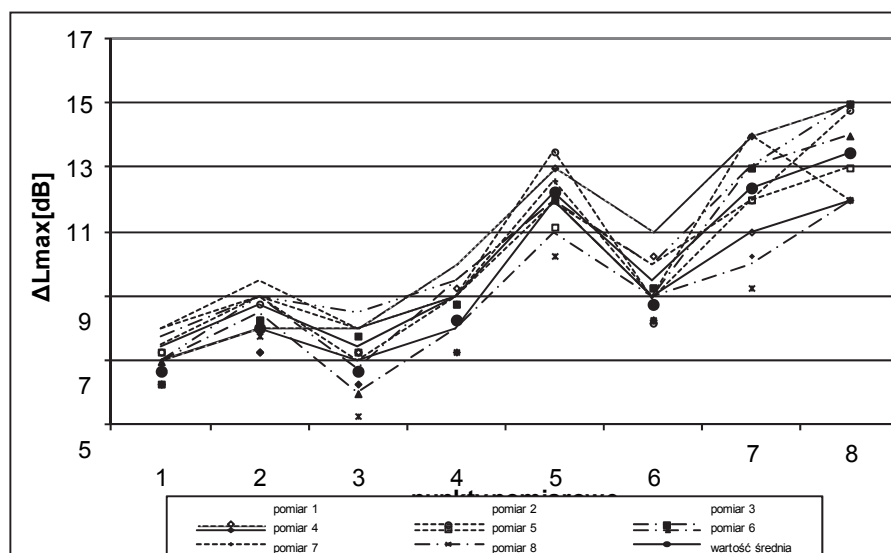


Rys. 98. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez pilę A poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydła odchylone o 45°

Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranu III

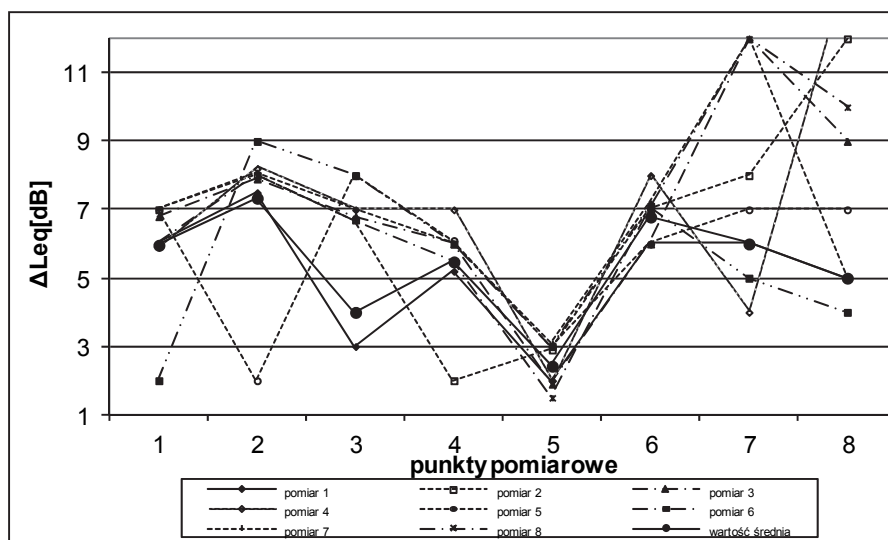


Rys. 99. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu III

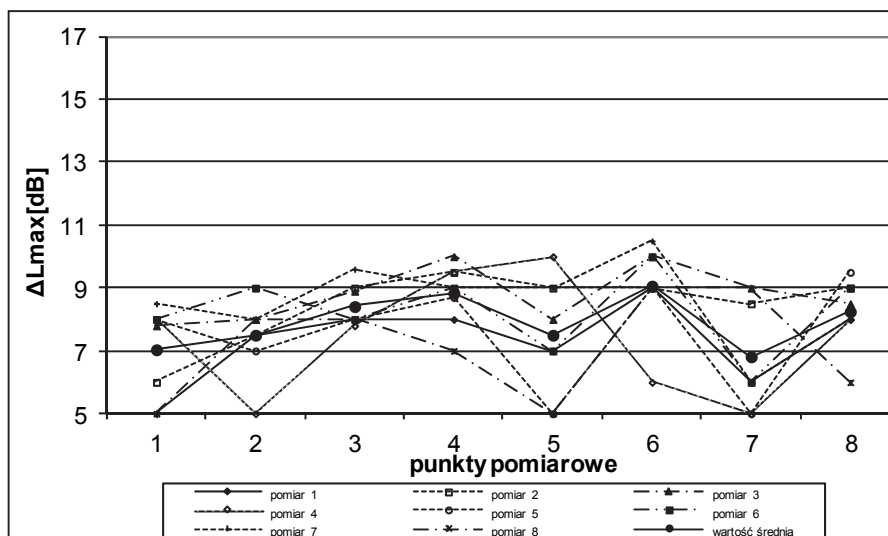


Rys. 100. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydła odchylone o 45°

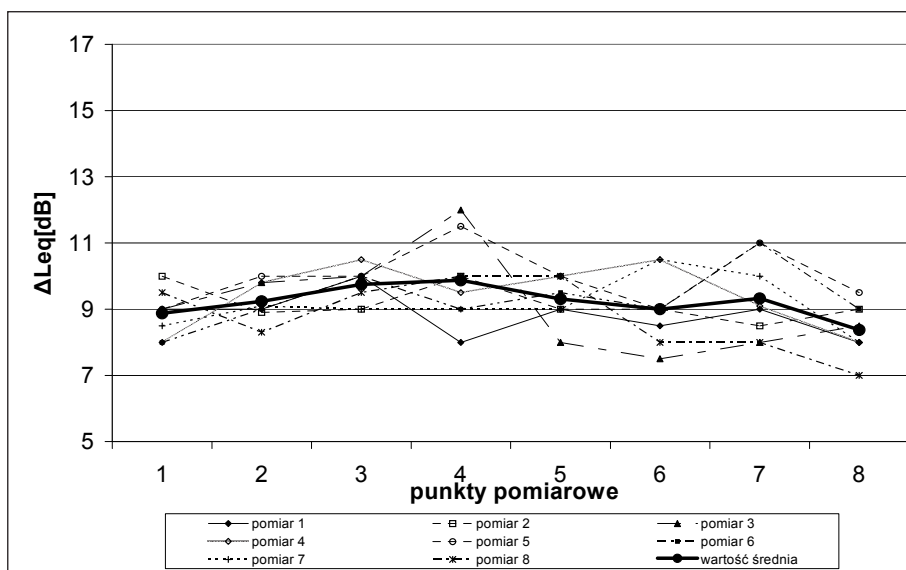
Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy pił A z zastosowaniem ekranów I i IV



Rys. 101. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem IV

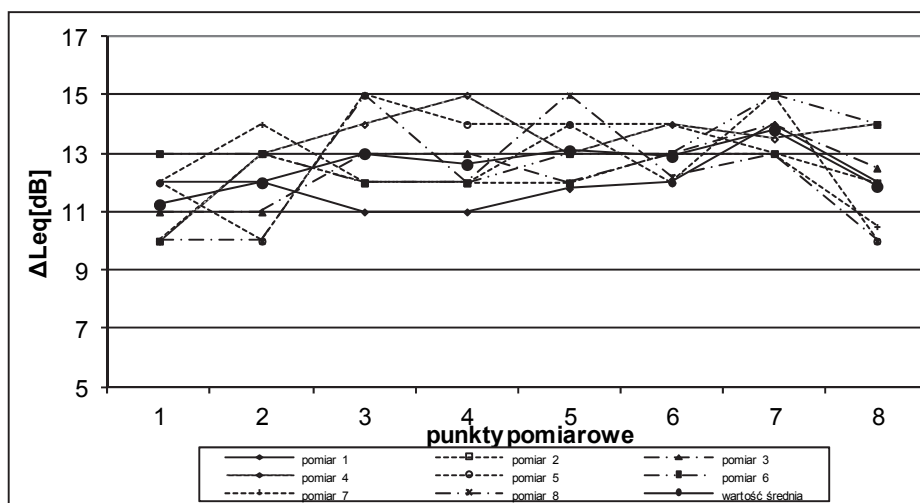


Rys. 102. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem IV

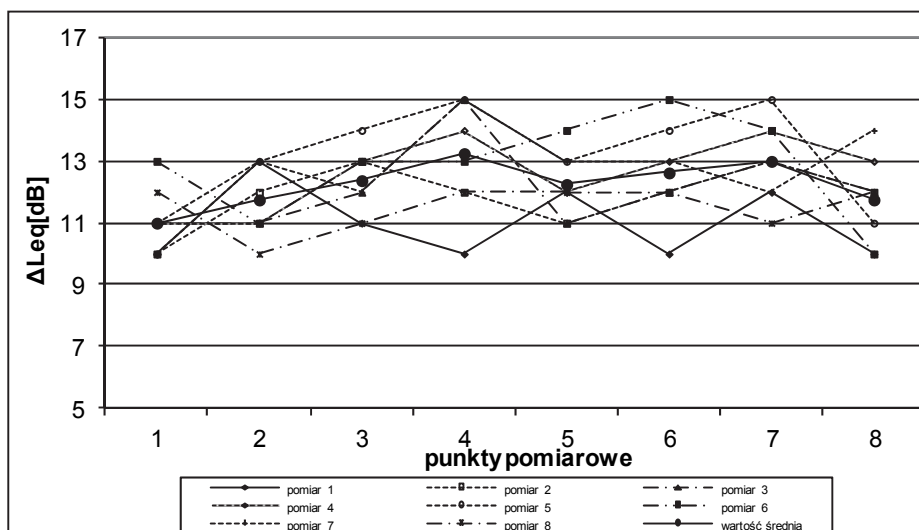


Rys. 103. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A z ekranem I

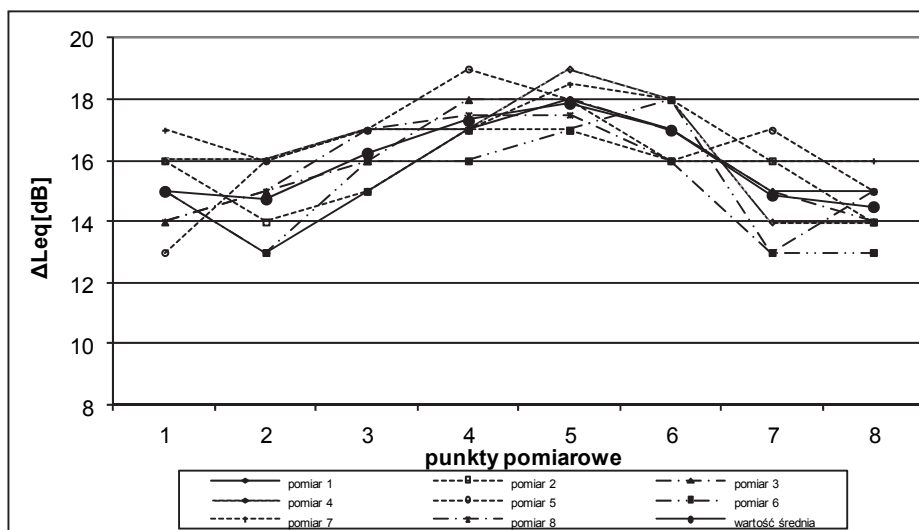
Modele ekranów I i IV („buda”) ze względu na niskie wartości IL nie brały udziału w dalszych badaniach. Wykresy obrazujące obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy piły A z zastosowaniem ekranów V i VI



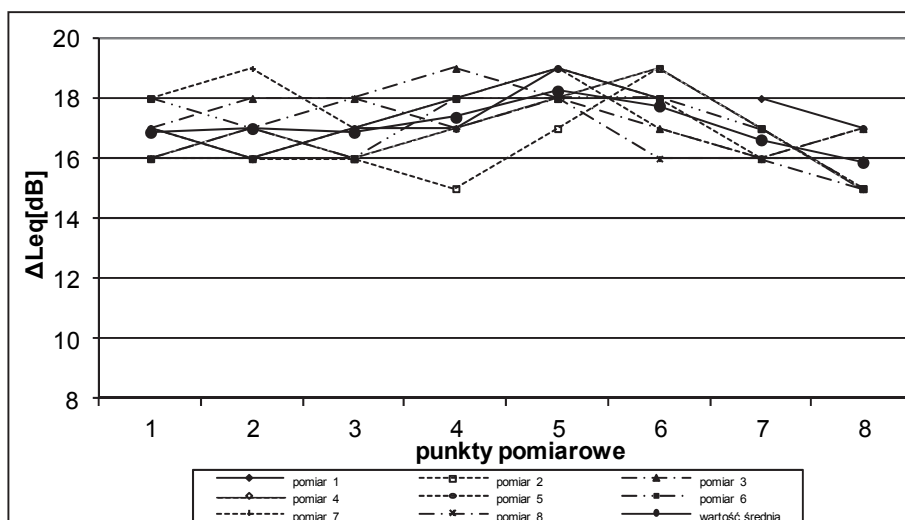
Rys. 104. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu V



Rys. 105. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydło odchylone o 45°

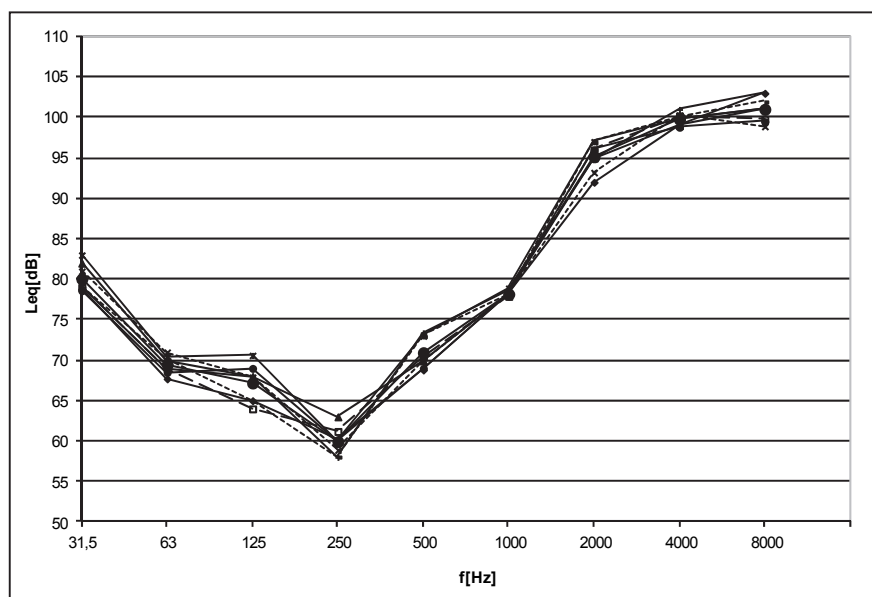


Rys. 106. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę A poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego

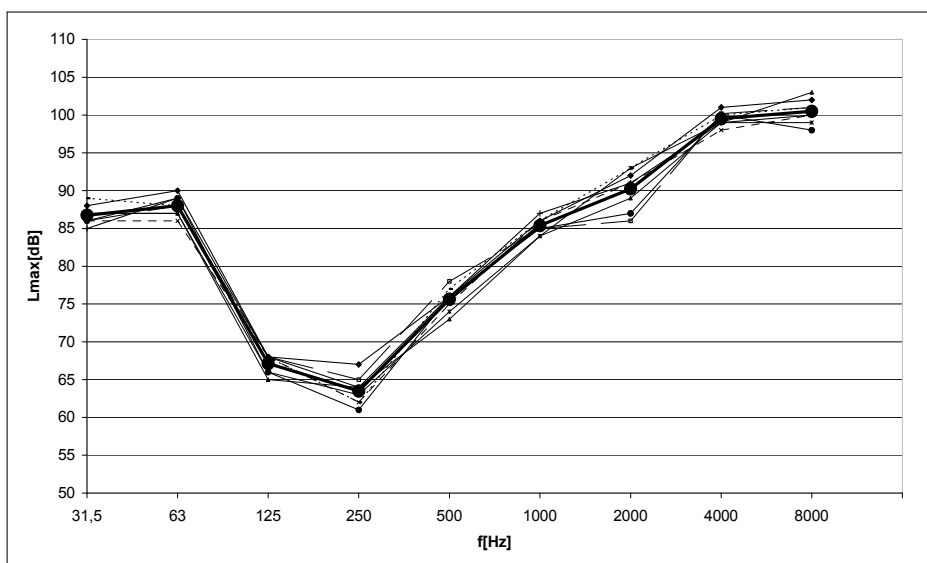


Rys. 107. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez pilę A poprzez zastosowanie ekranu VI – skrzydła odchylone o 45°

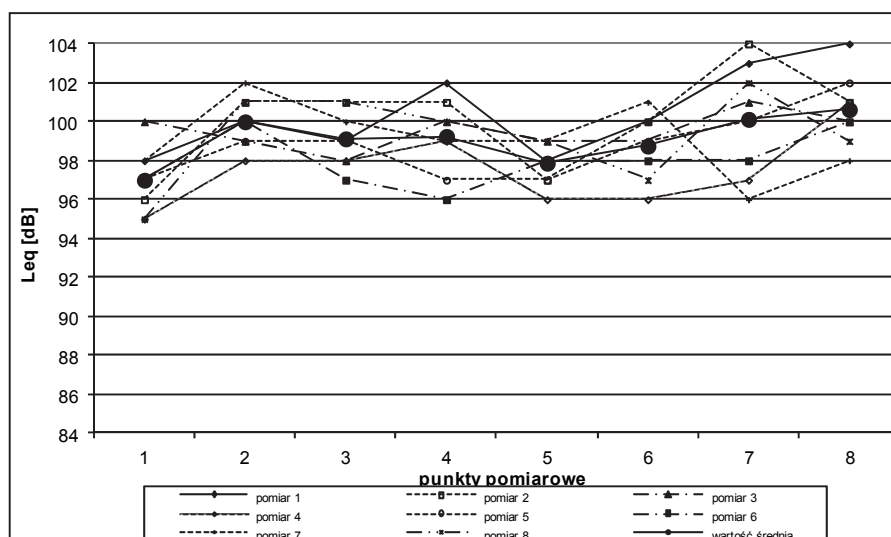
Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę C



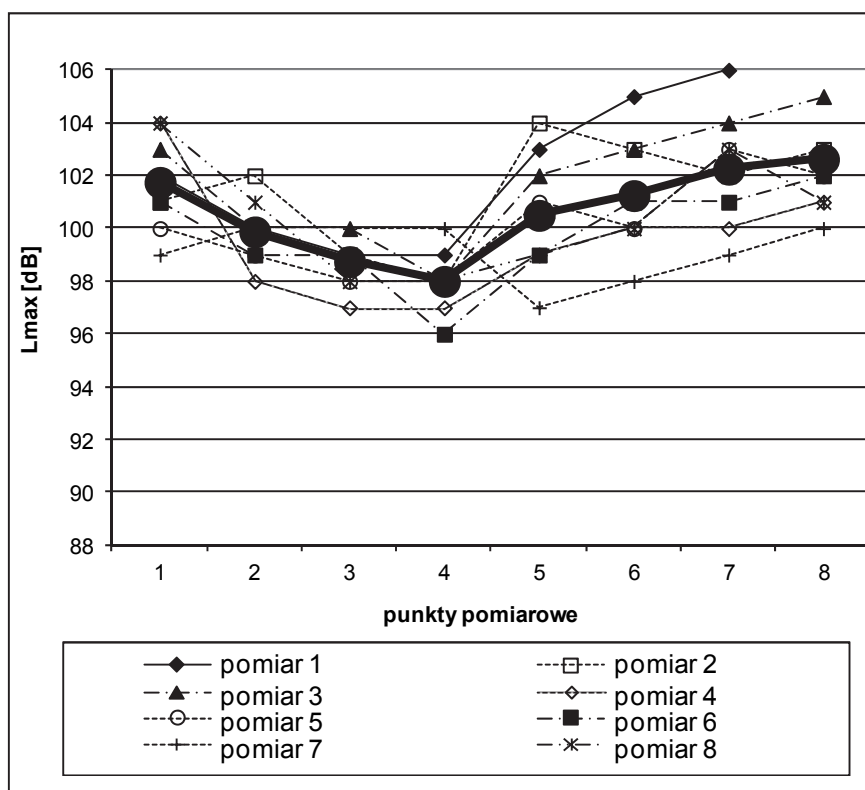
Rys. 108. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie



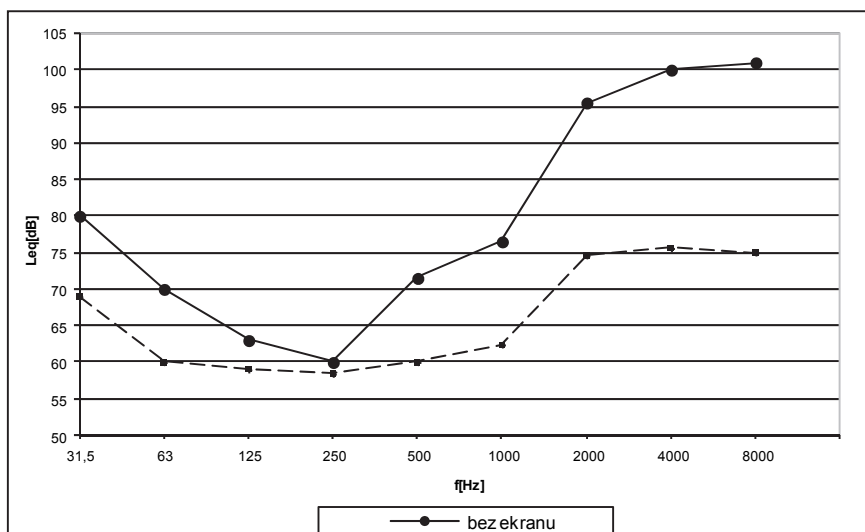
Rys. 109. Uśredniony maksymalny poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie pracy piły C do drewna



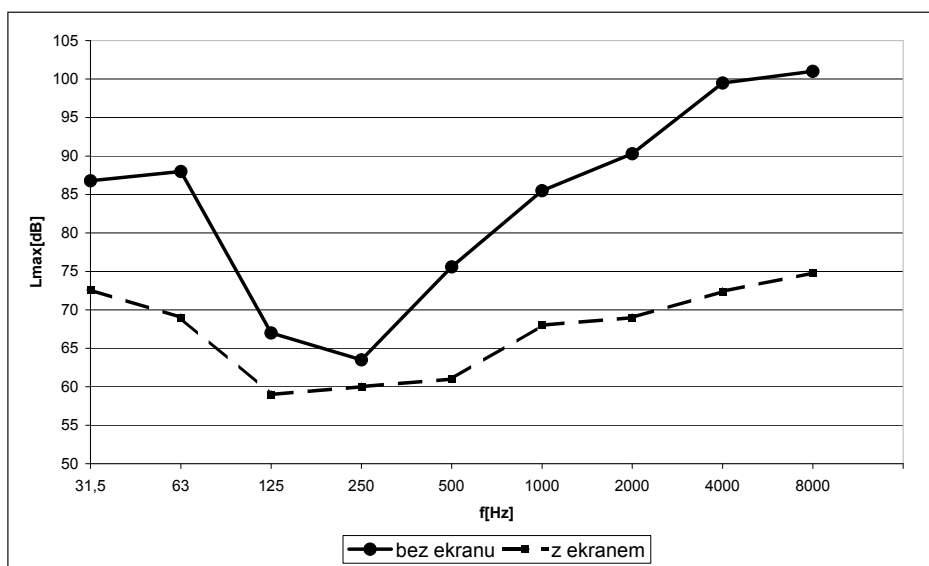
Rys. 110. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły C



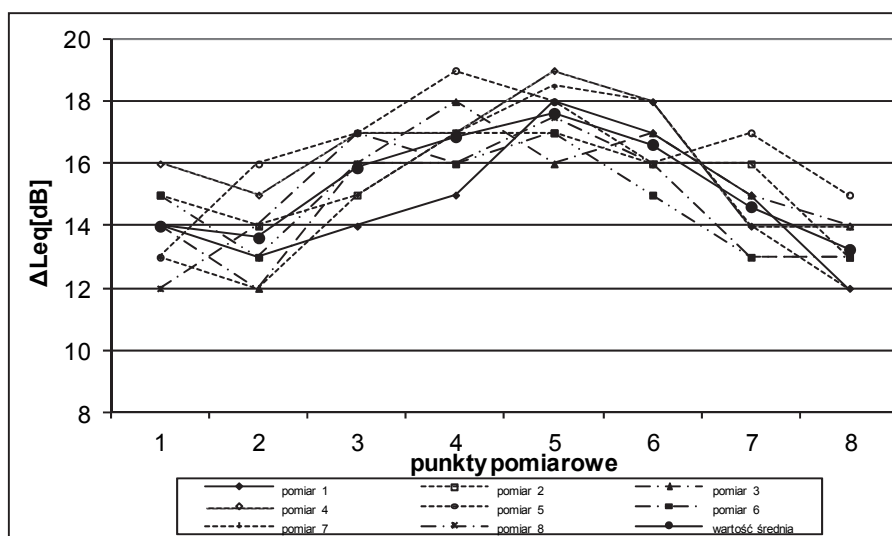
Rys. 111. Maksymalny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły C



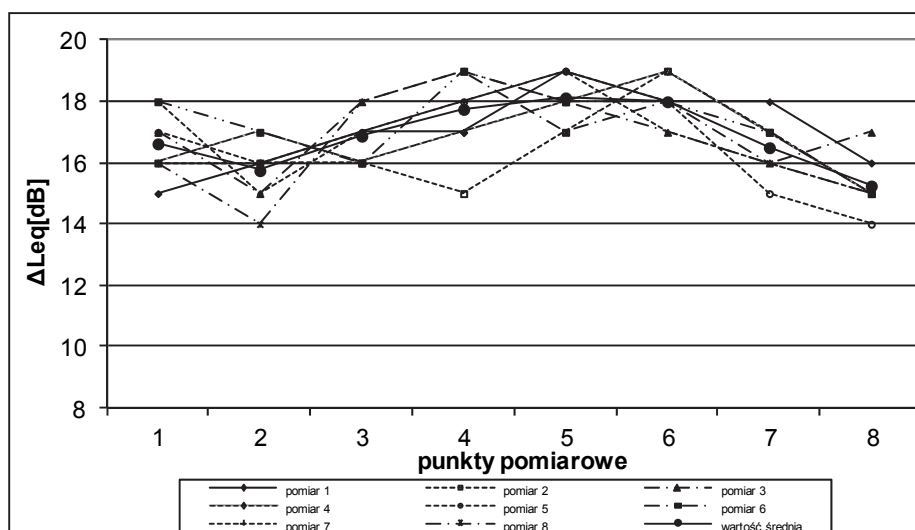
Rys. 114. Uśredniony, dla wszystkich punktów, poziom hałasu emitowanego przez piłę C bez i z ekranem II



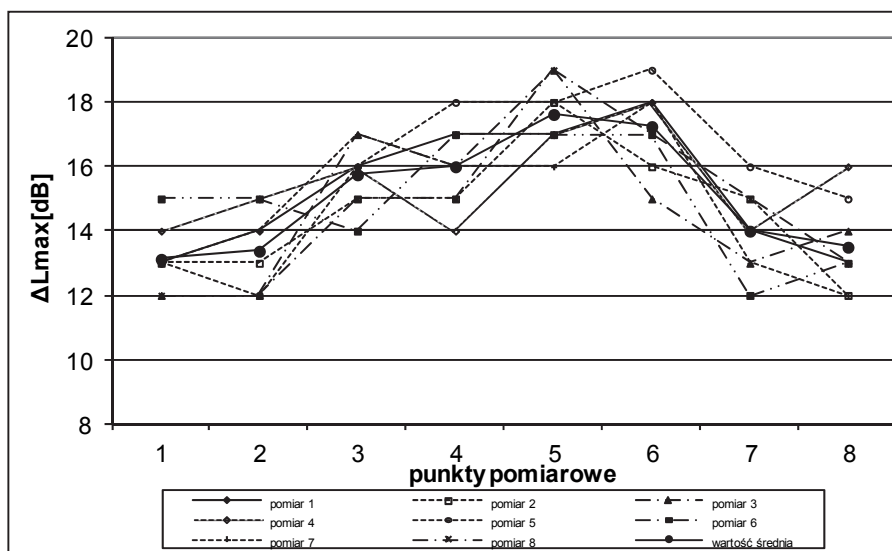
Rys. 115. Uśredniony, dla wszystkich punktów, maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę C bez i z ekranem II



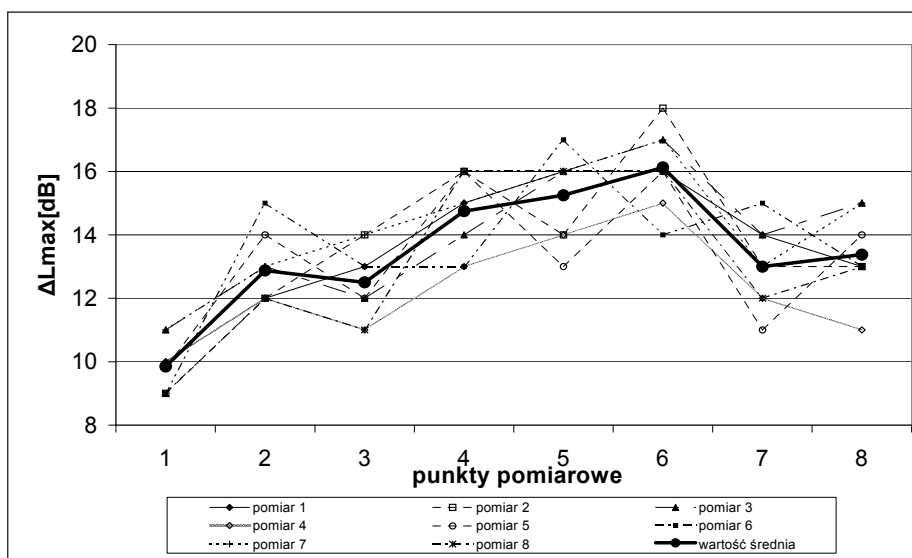
Rys. 116. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



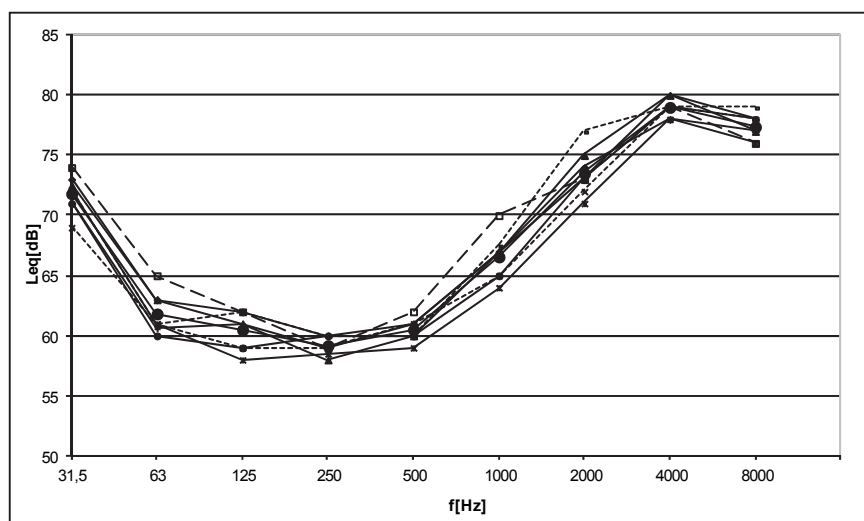
Rys. 117. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu II – skrzydło odchylone o 45°



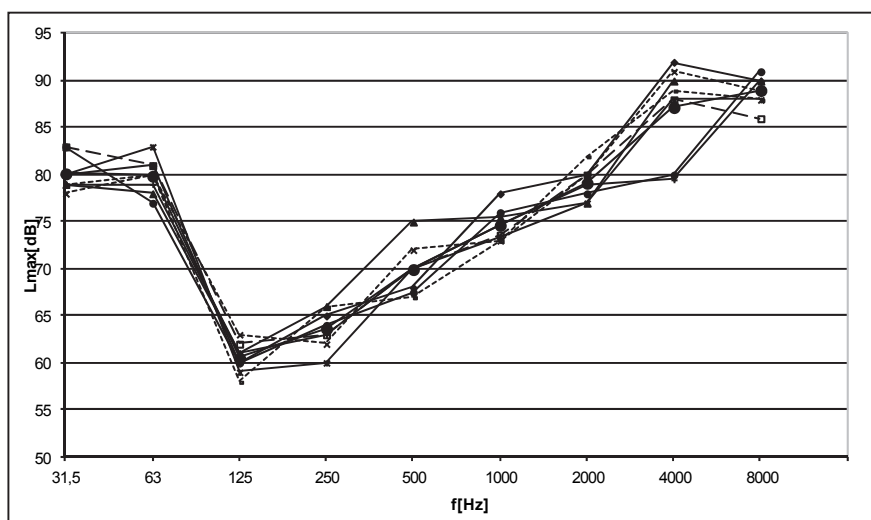
Rys. 118. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



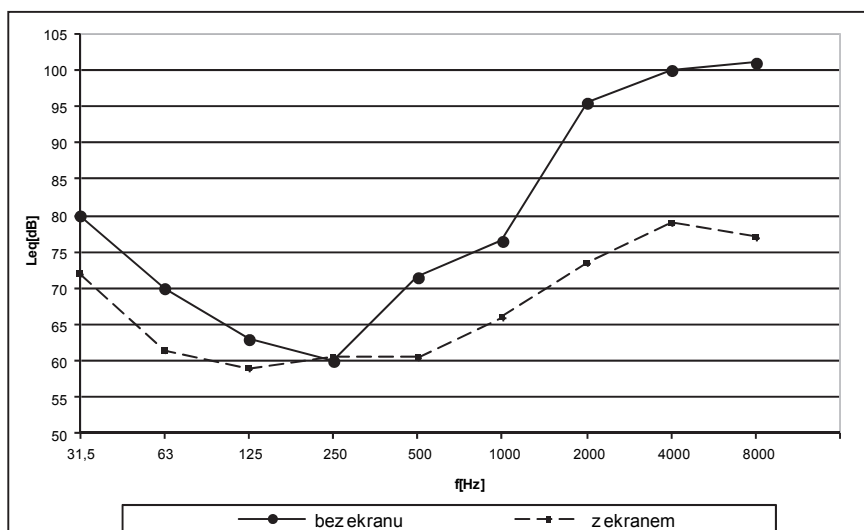
Rys. 119. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu II – skrzydło odchylone o 45°



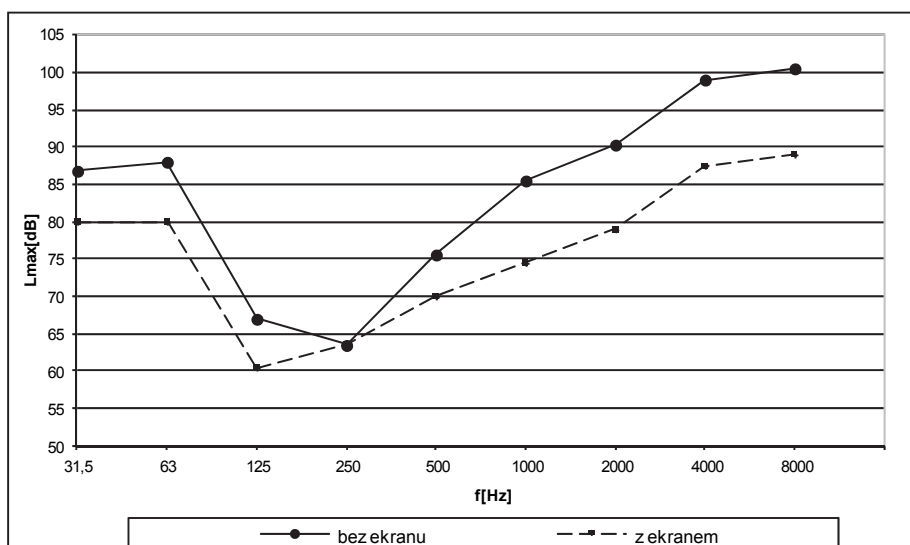
Rys. 120. Uśredniony poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie pracy piły C z zastosowaniem ekranu III



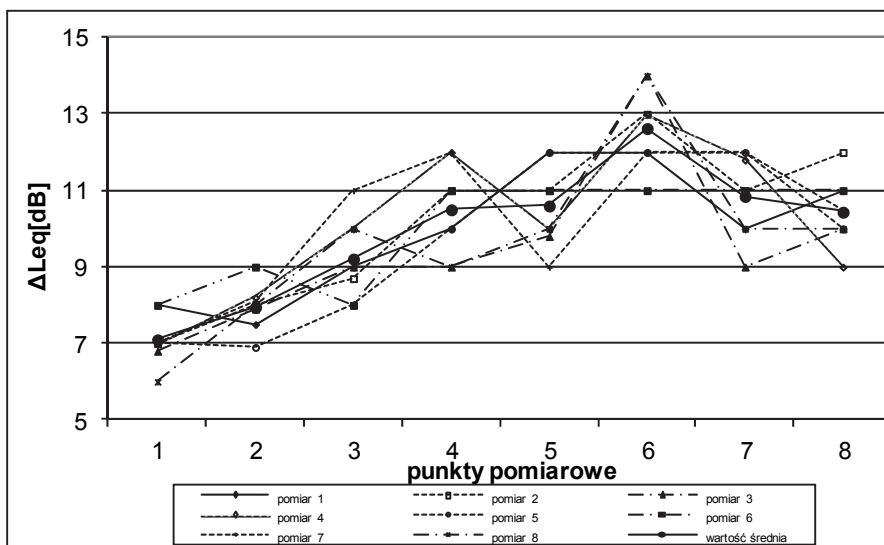
Rys. 121. Uśredniony maksymalny poziom hałasu, dla wszystkich punktów, emitowany w czasie pracy piły C z zastosowaniem ekranu III



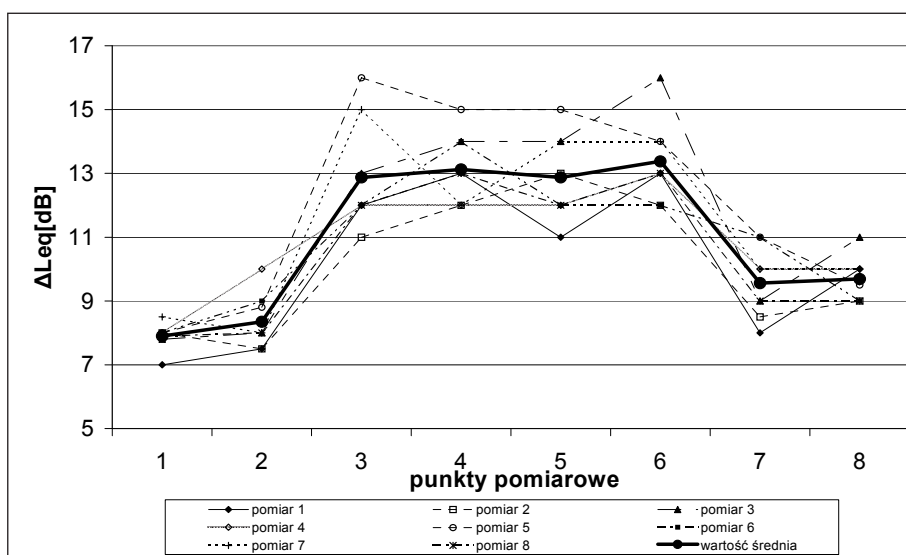
Rys. 122. Uśredniony, dla wszystkich punktów, poziom hałasu emitowanego przez piłę C bez i z ekranem III



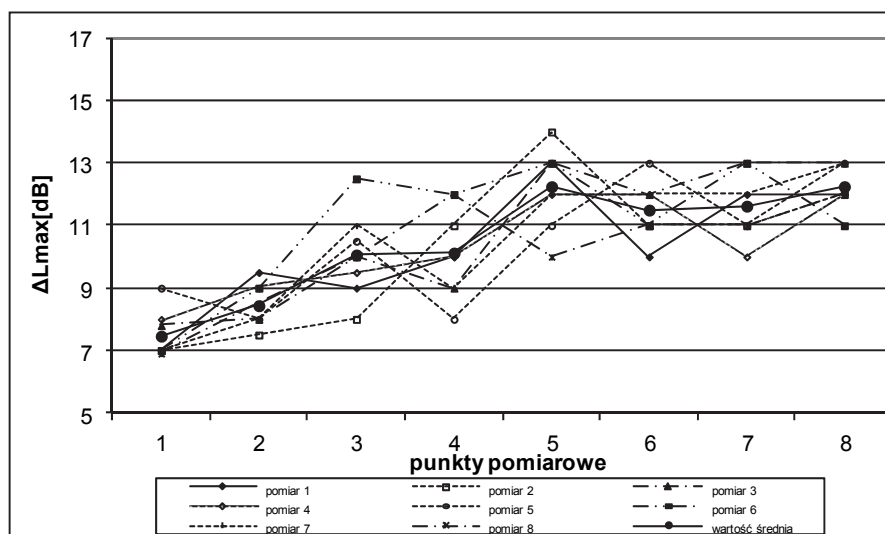
Rys. 123. Uśredniony, dla wszystkich punktów, maksymalny poziom hałasu emitowanego przez piłę C bez i z ekranem III



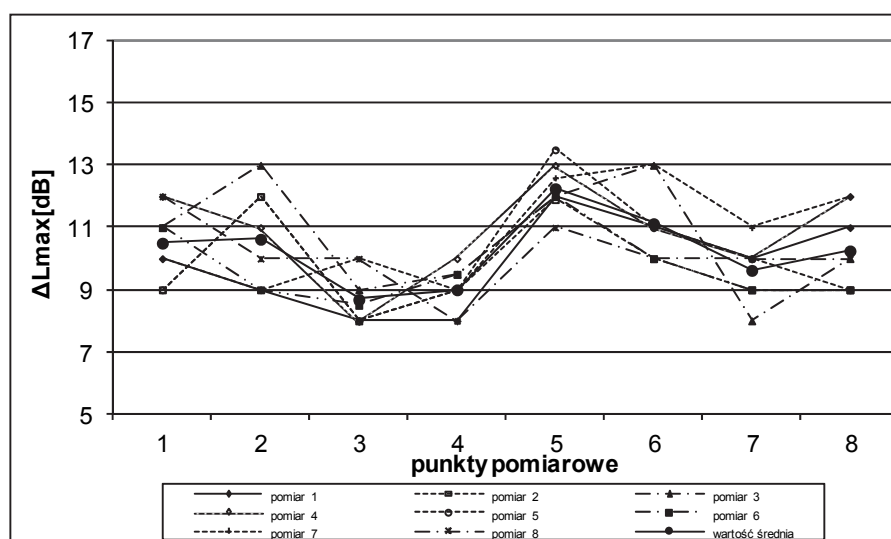
Rys. 124. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu III pionowego



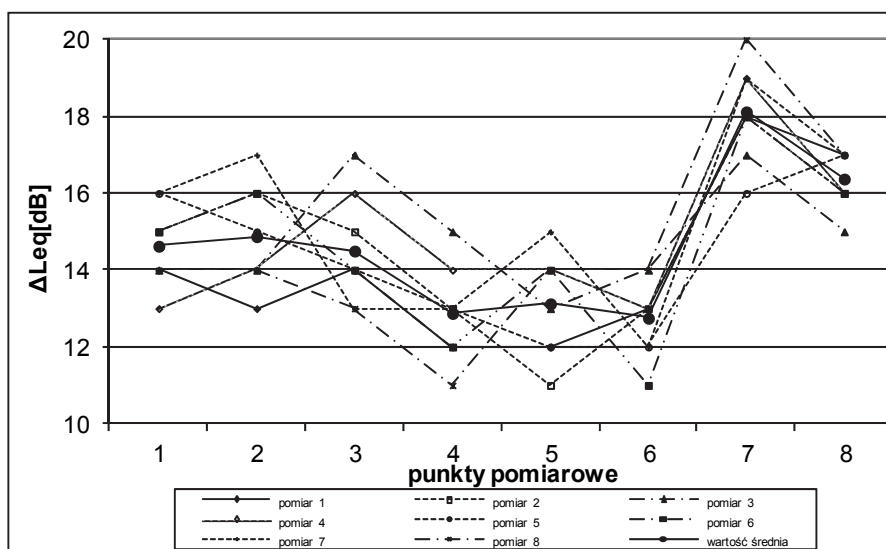
Rys. 125. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydła odchylone o 45°



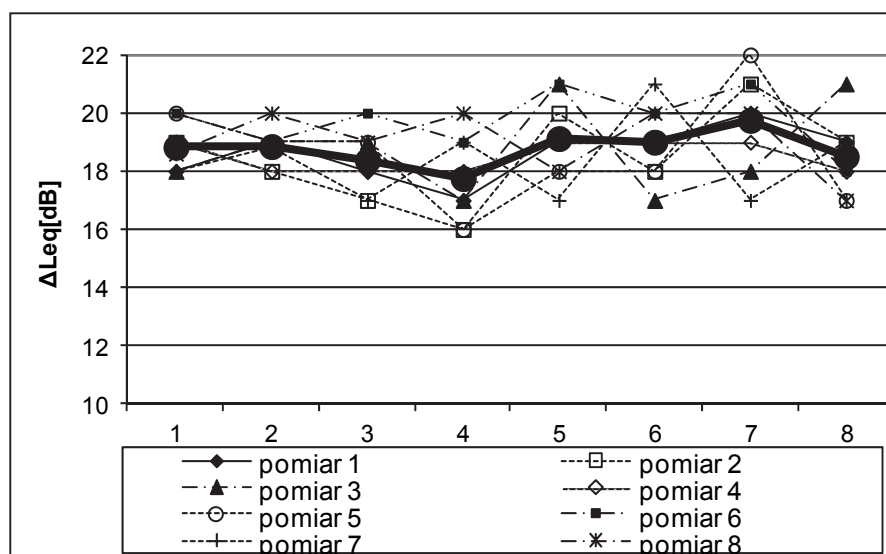
Rys. 126. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu III pionowego



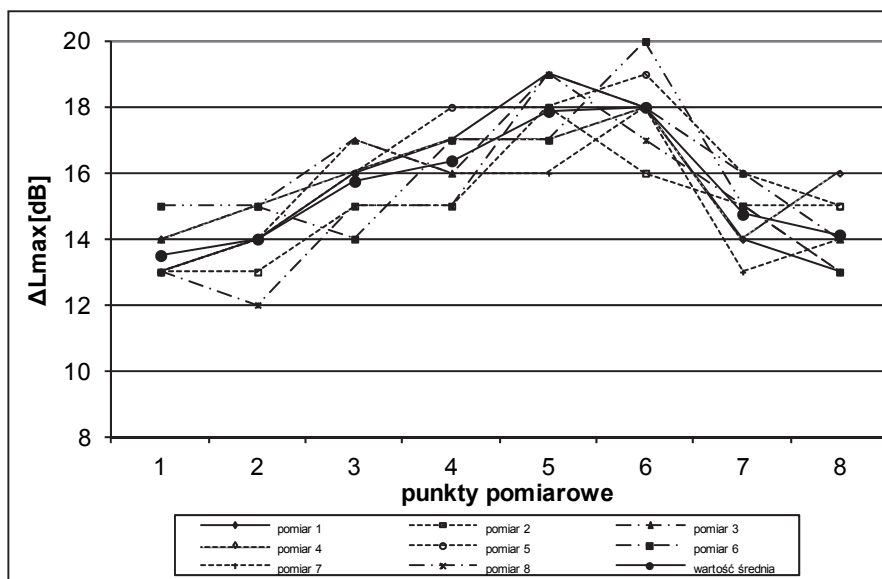
Rys. 127. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydła odchylone o 45°



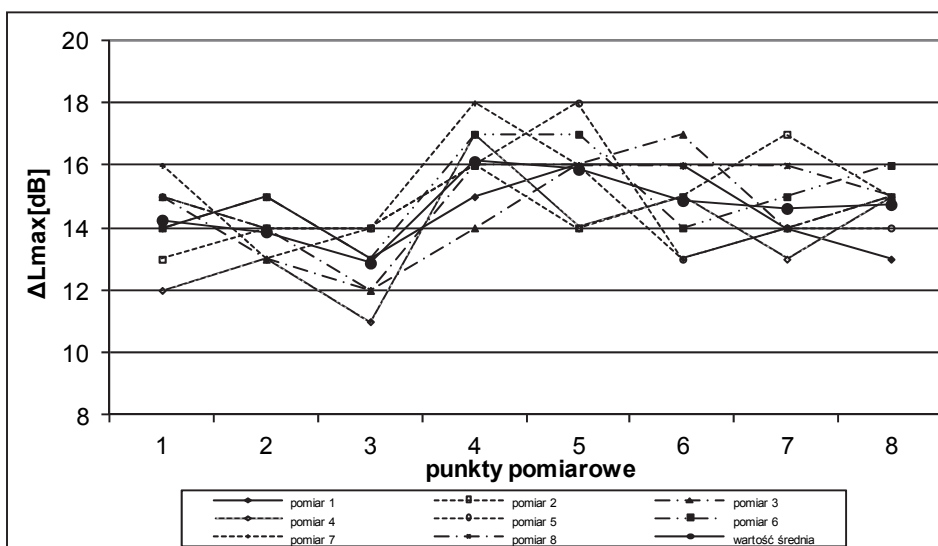
Rys. 128. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



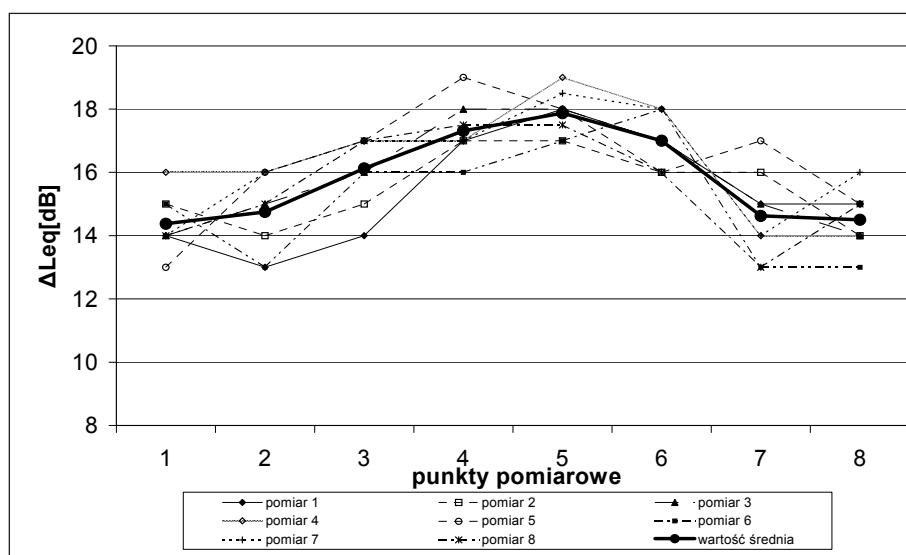
Rys. 129. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydła odchylone o 45°



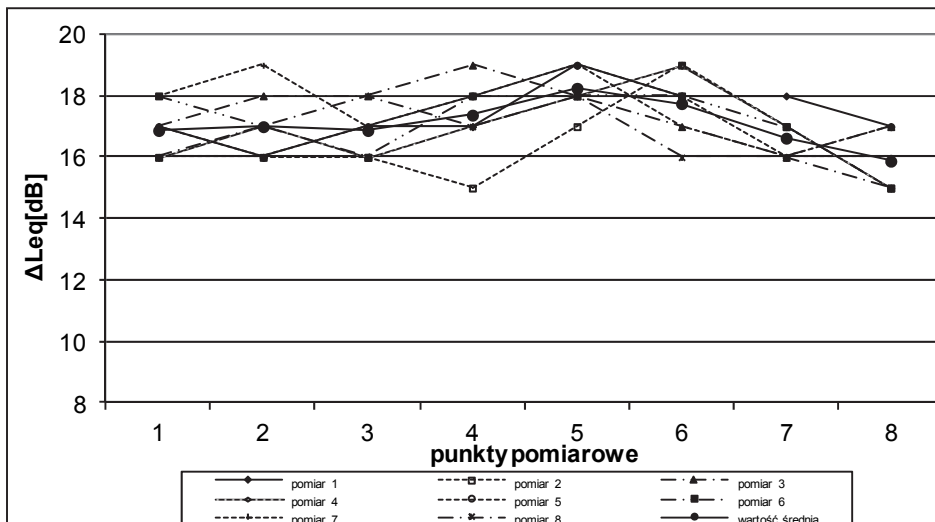
Rys. 130. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



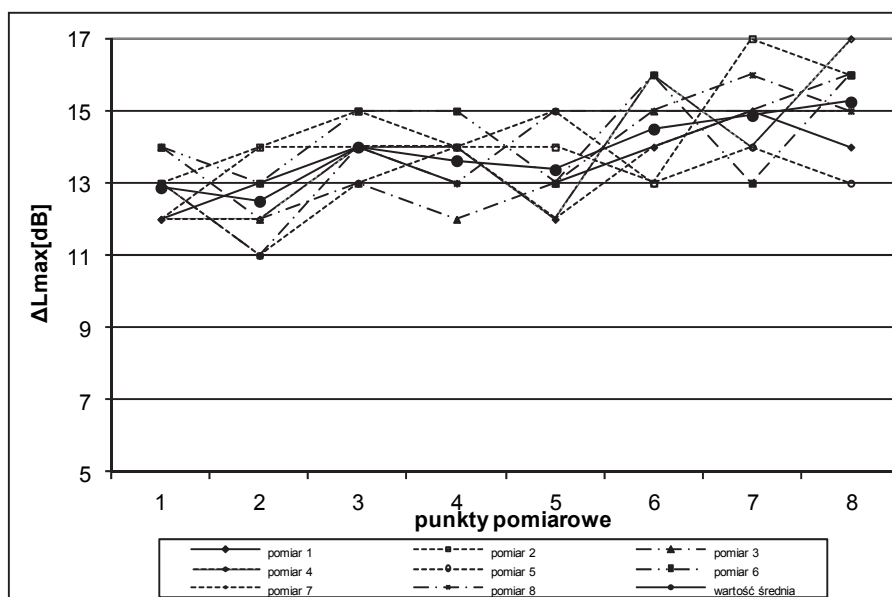
Rys. 131. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydło odchylone o 45°



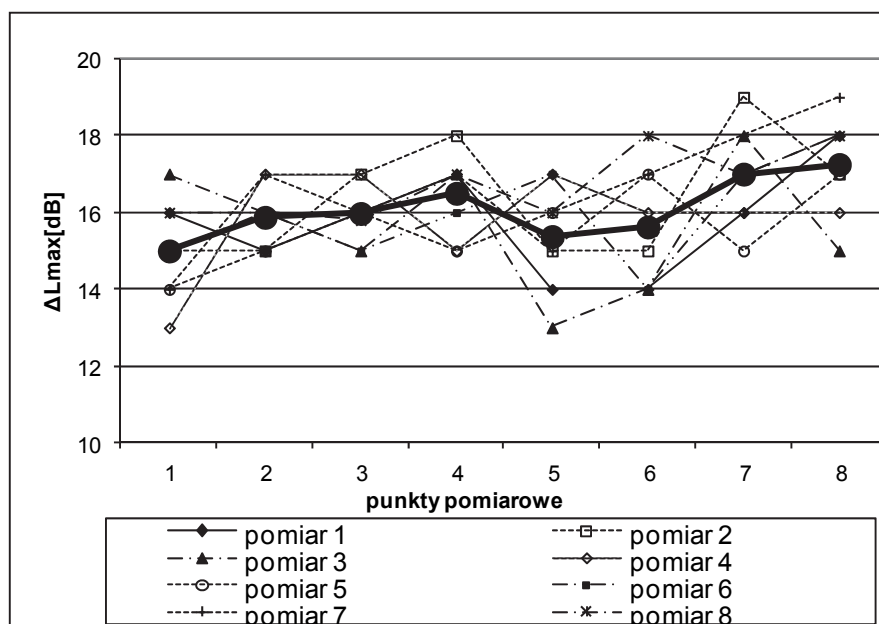
Rys. 132. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego



Rys. 133. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu VI – skrzydła odchylone o 45°

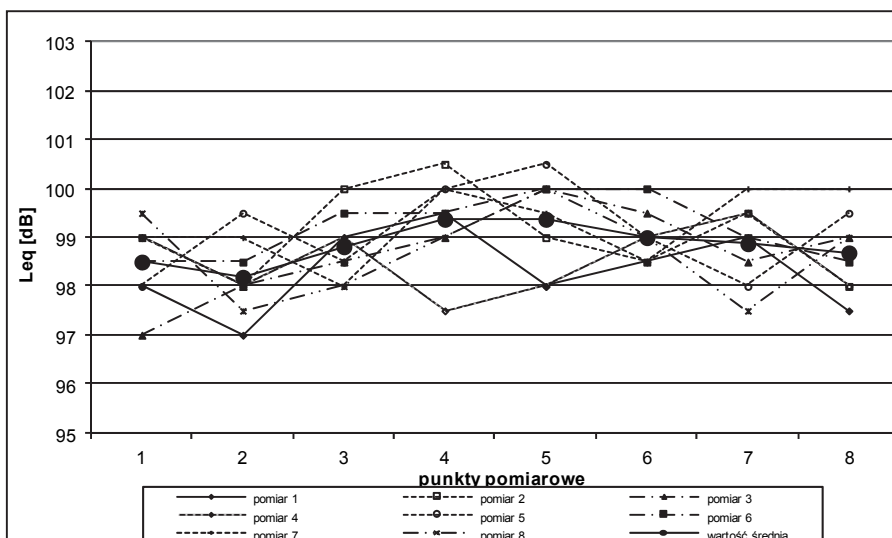


Rys. 134. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego

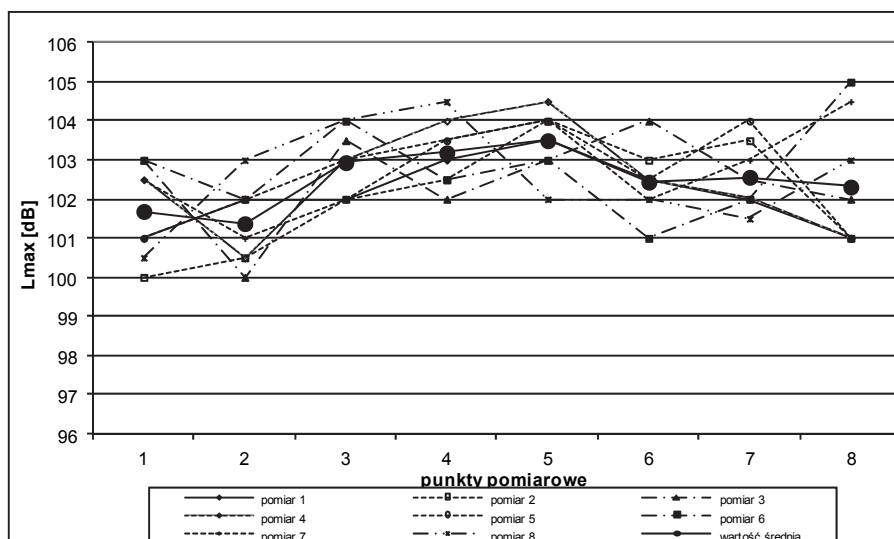


Rys. 135. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę C poprzez zastosowanie ekranu VI – skrzydła odchylone o 45°

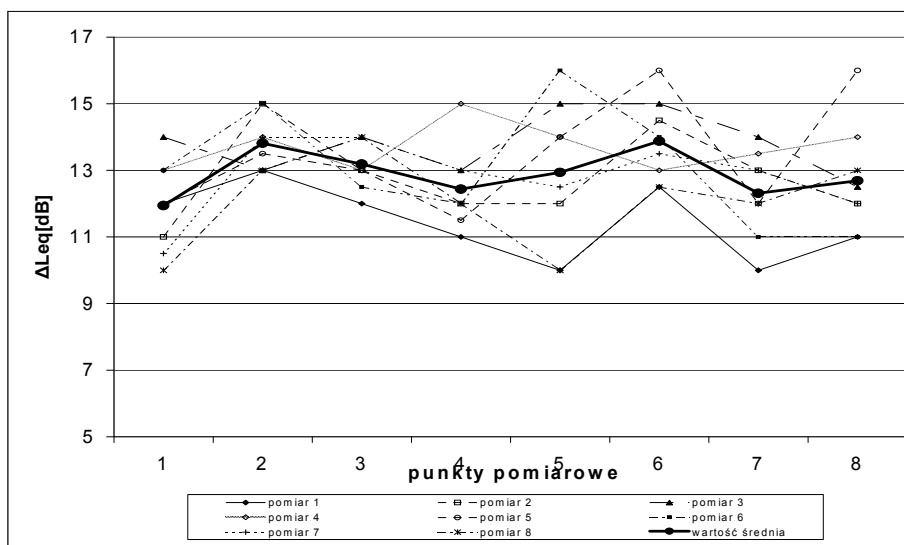
Wykresy poziomu hałasu emitowanego przez pilę B bez i z zastosowaniem ekranów: II, III, V i VI



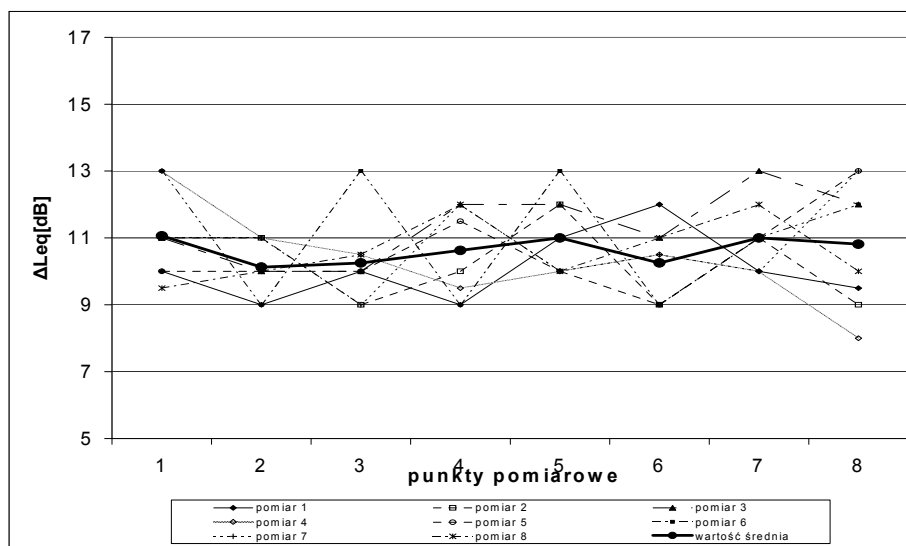
Rys. 136. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły B



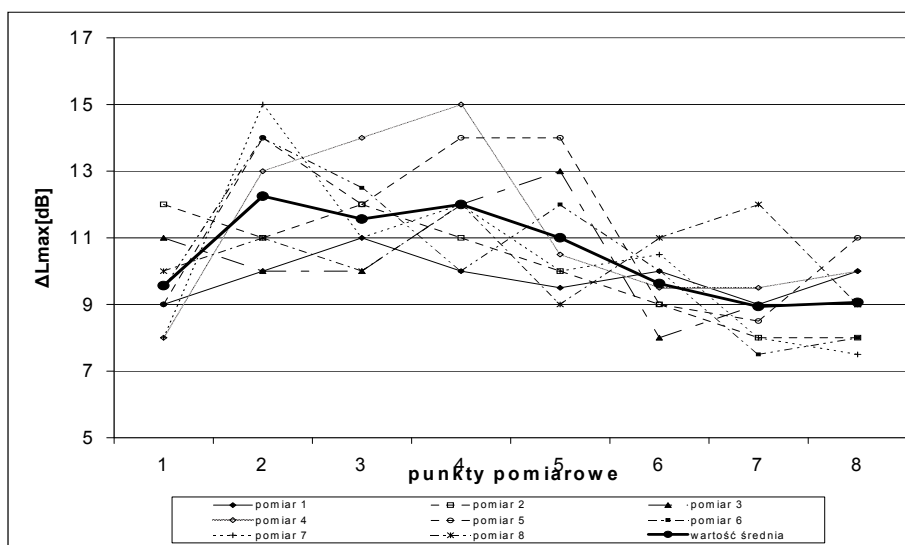
Rys. 137. Maksymalny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły B



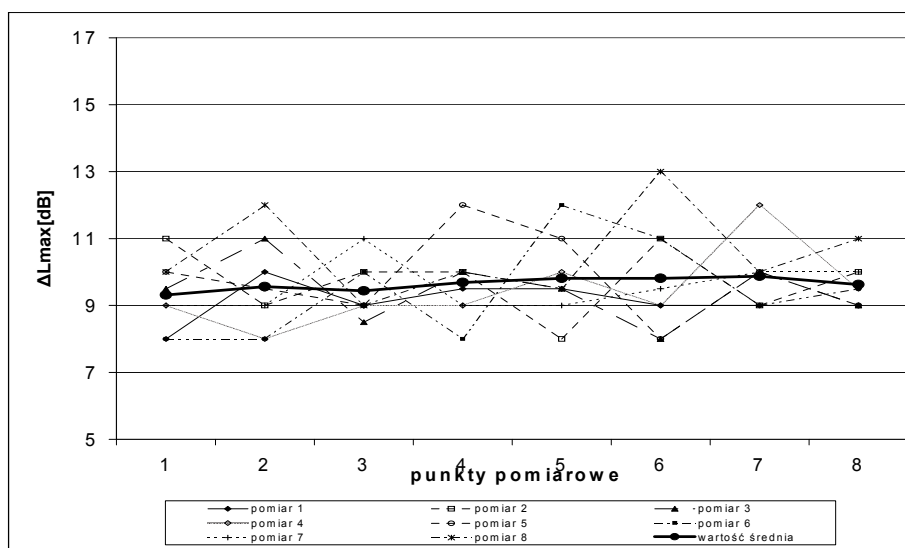
Rys. 138. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



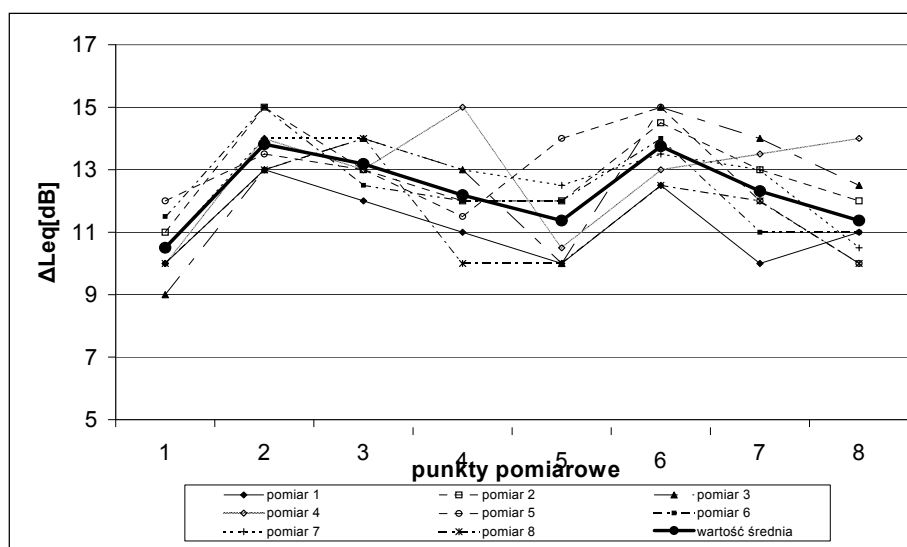
Rys. 139. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu II – skrzydło odchylone o 45°



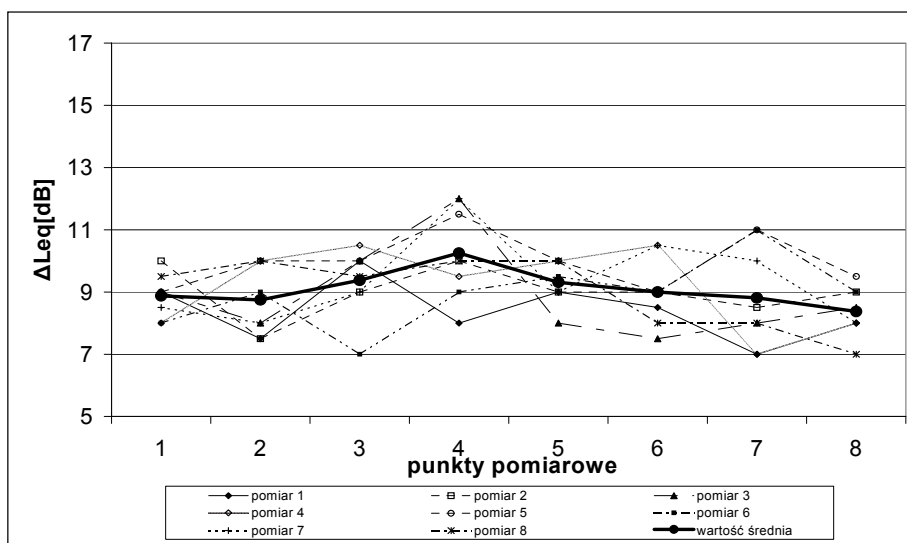
Rys. 140. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



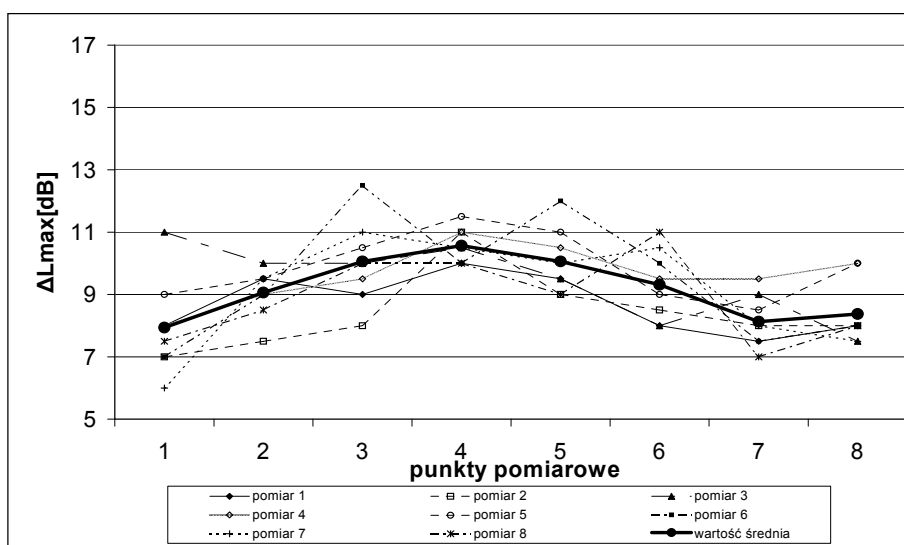
Rys. 141. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu II – skrzydło odchylone o 45°



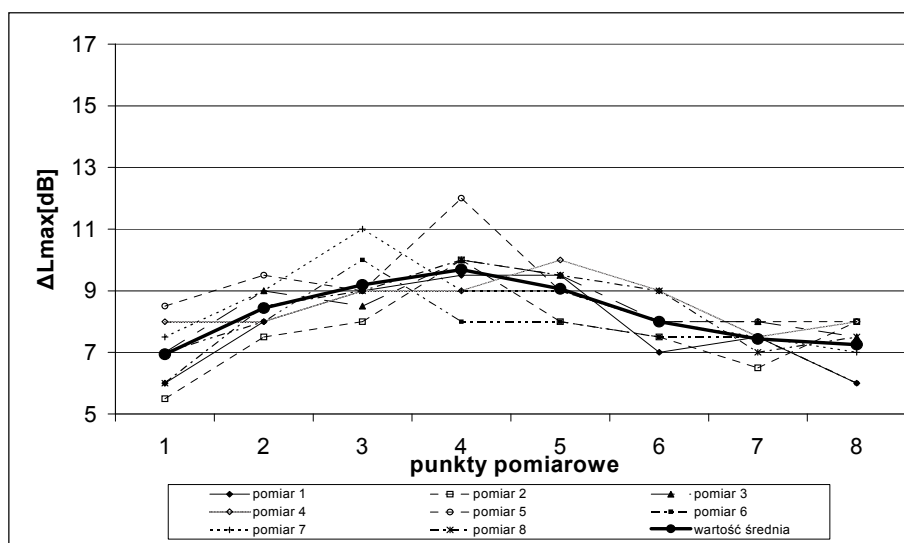
Rys. 142. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu III pionowego



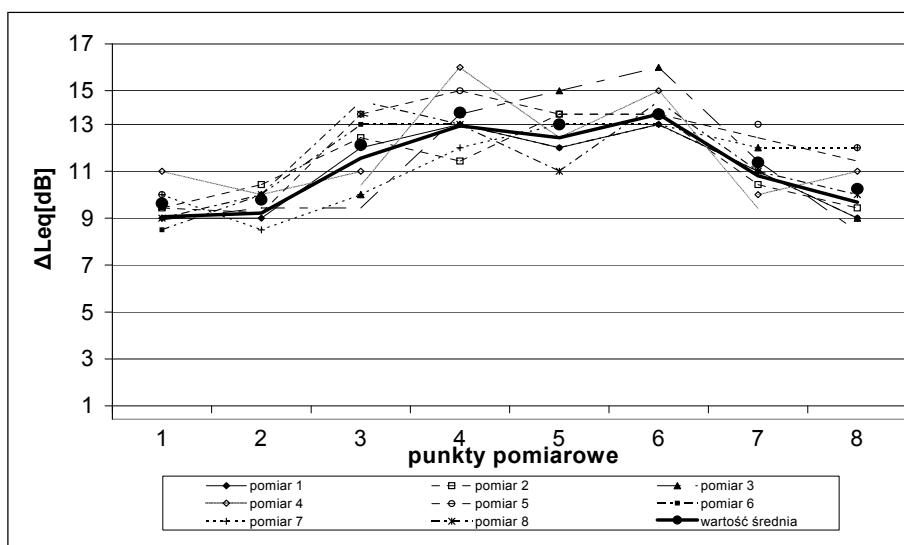
Rys. 143. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydło odchylone o 45°



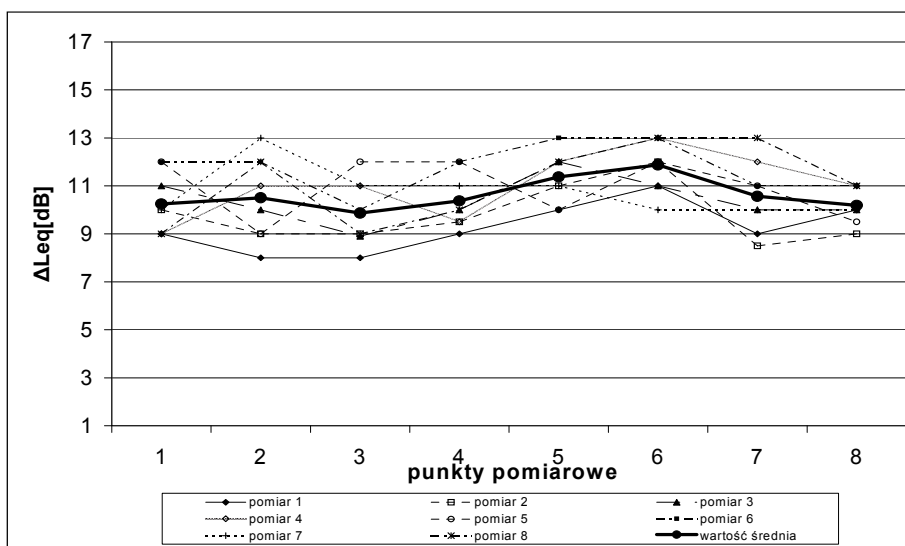
Rys. 144. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu III pionowego



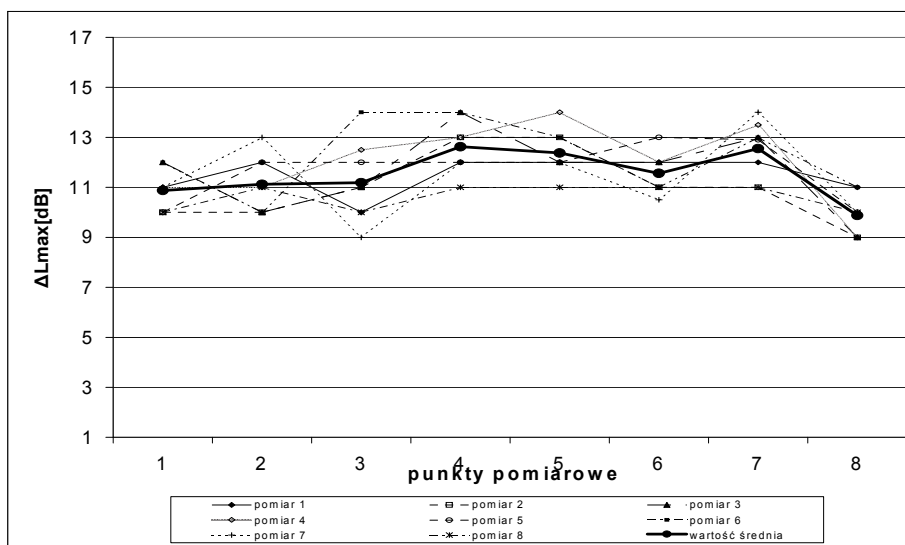
Rys. 145. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydło odchylone o 45°



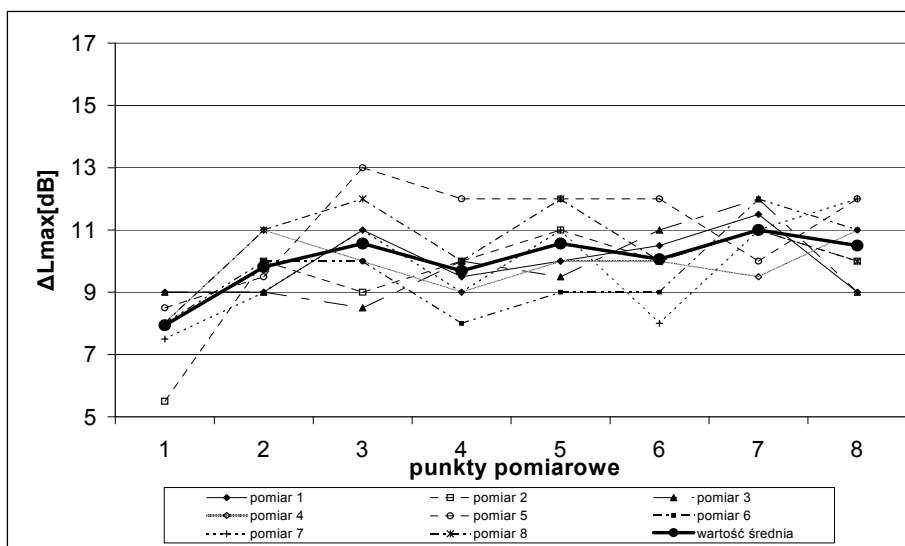
Rys. 146. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



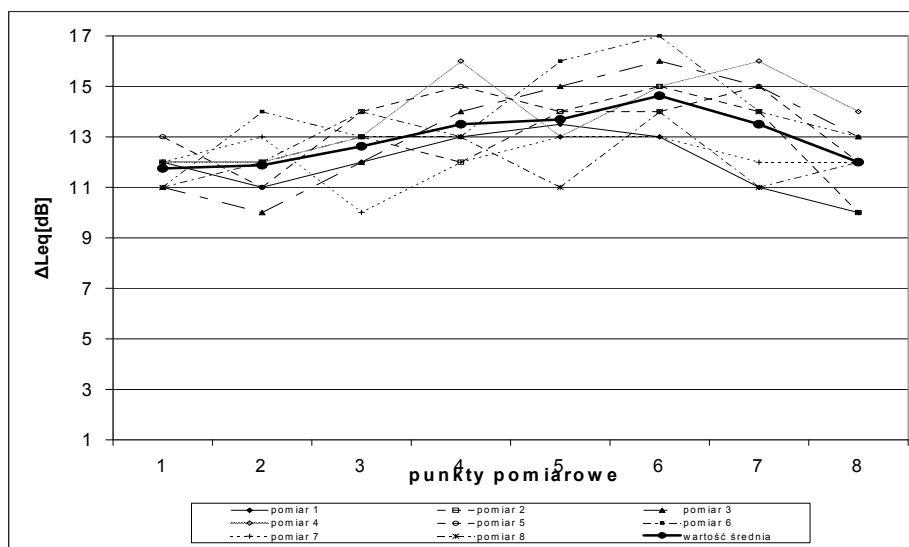
Rys. 147. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydła odchylone o 45°



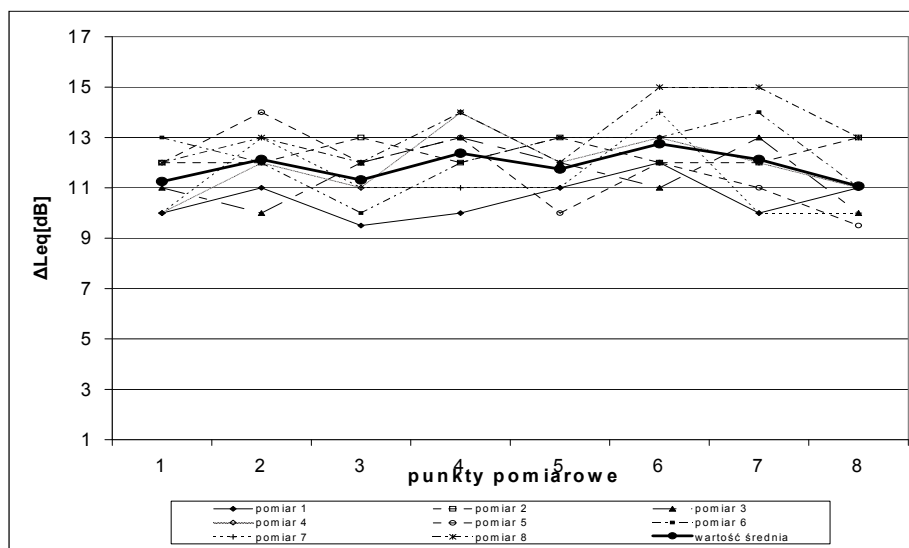
Rys. 148. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



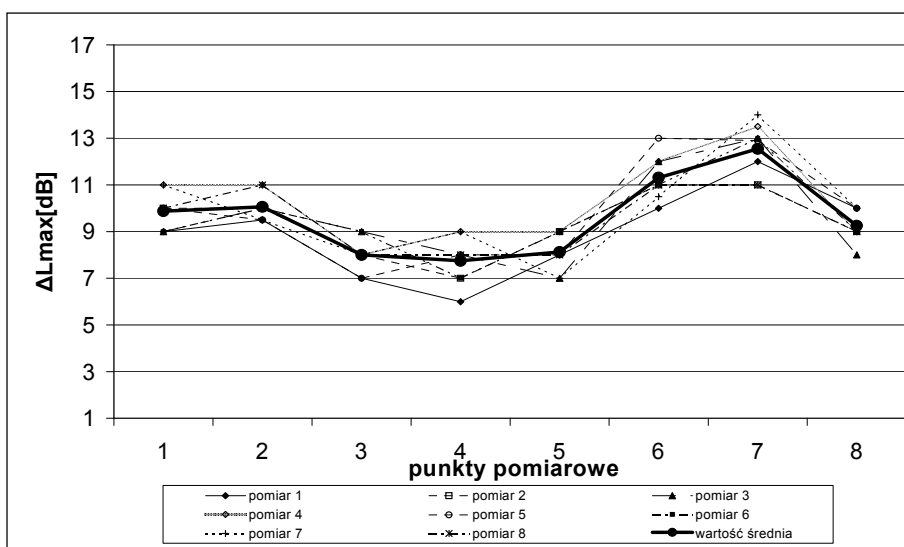
Rys. 149. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydła odchylone o 45°



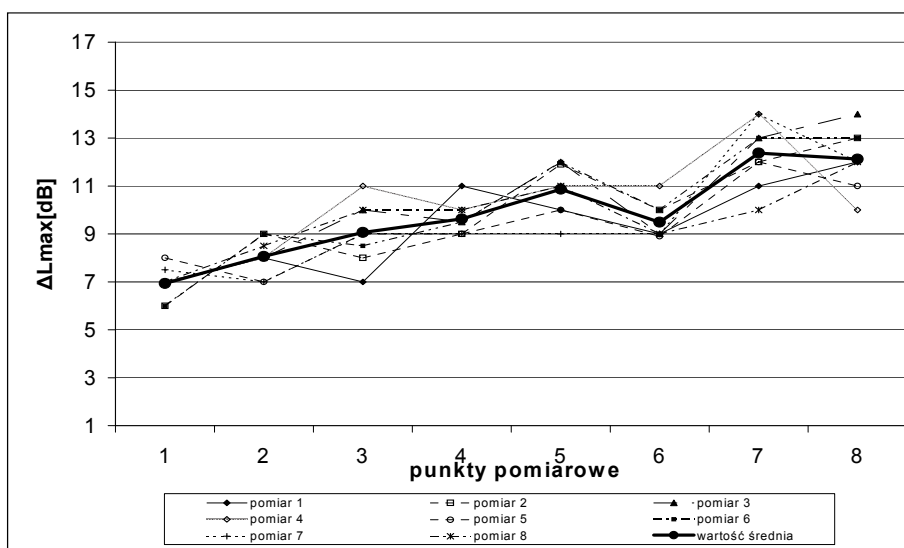
Rys. 150. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego



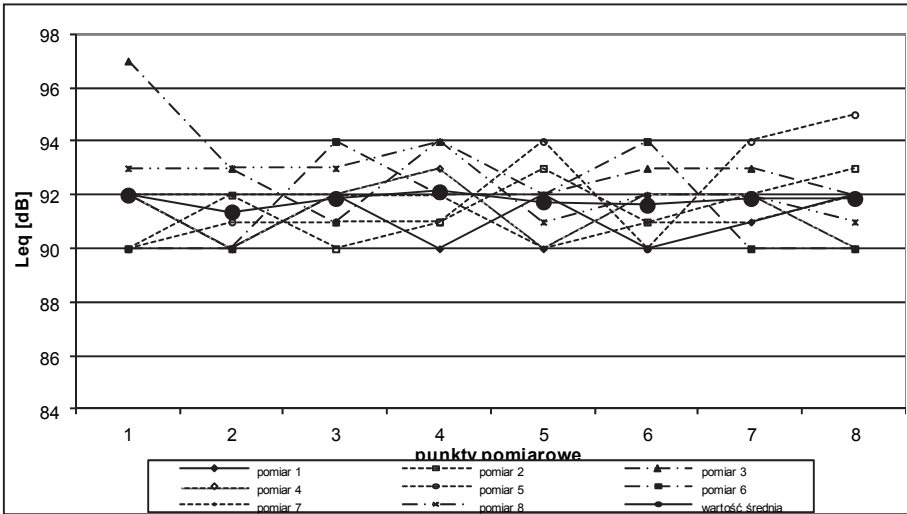
Rys. 151. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu VI – skrzydło odchylone o 45°



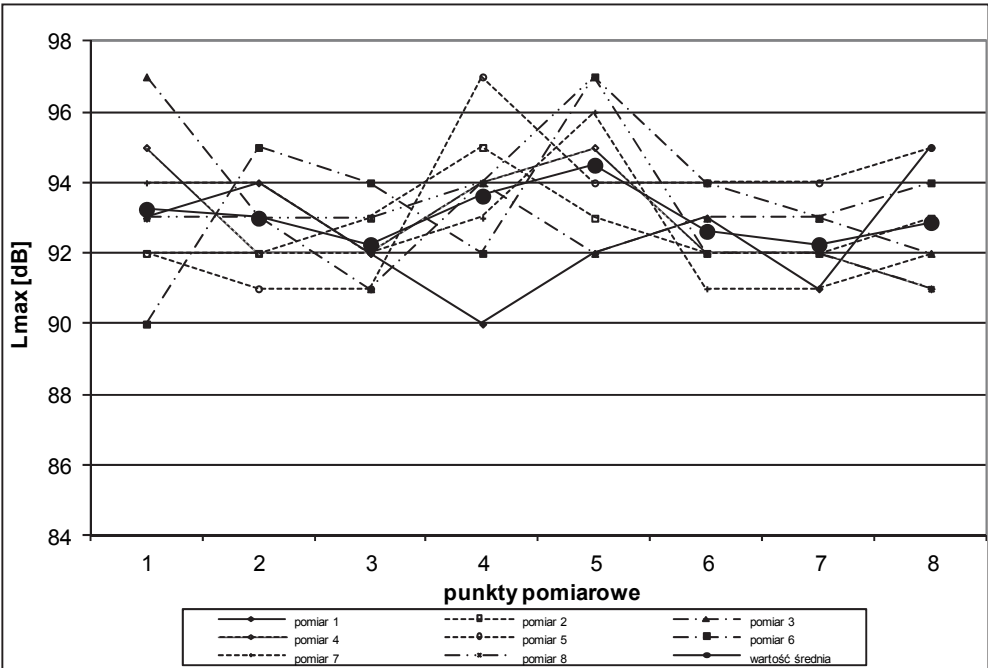
Rys. 152. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



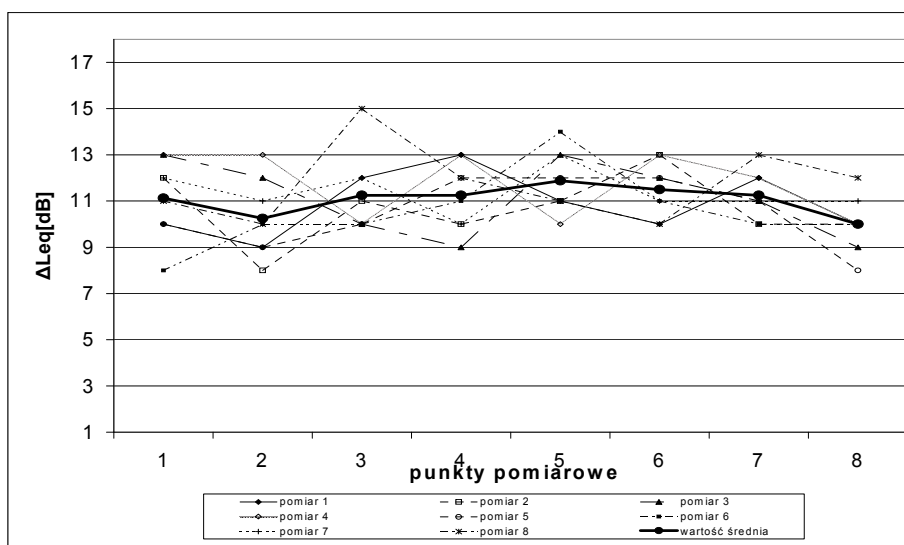
Rys. 153. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez piłę B poprzez zastosowanie ekranu IV – skrzydła odchylone o 45°



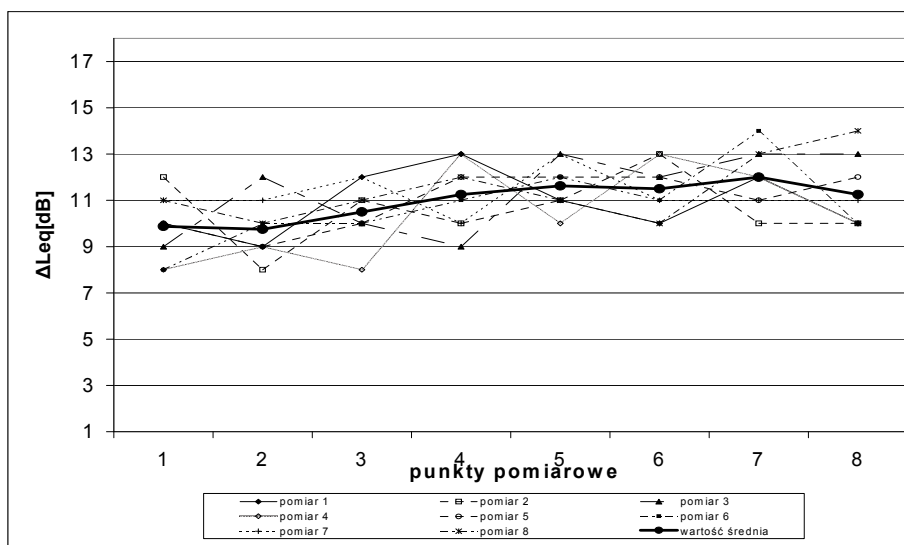
Rys. 154. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy młota (wycinanie asfaltu)



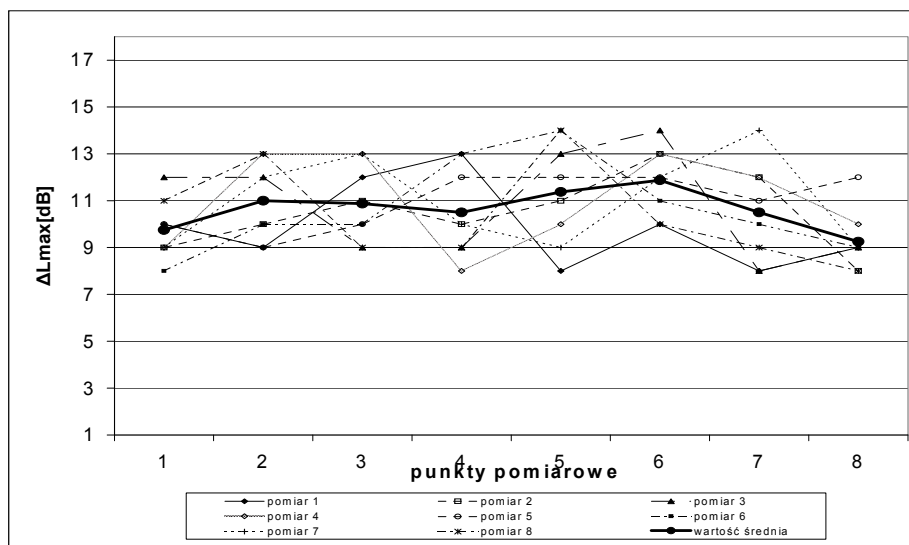
Rys. 155. Maksymalny poziom hałasu emitowany podczas pracy młota (wycinanie asfaltu)



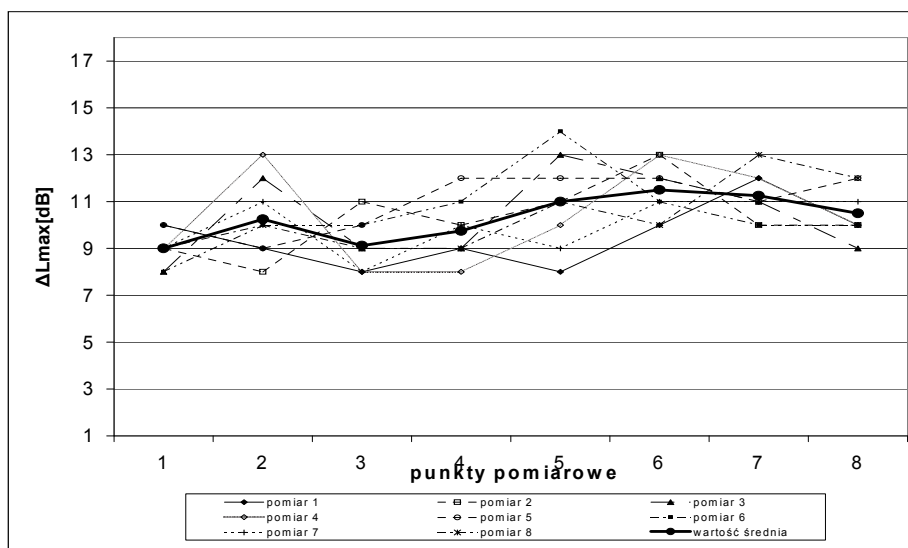
Rys. 156. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



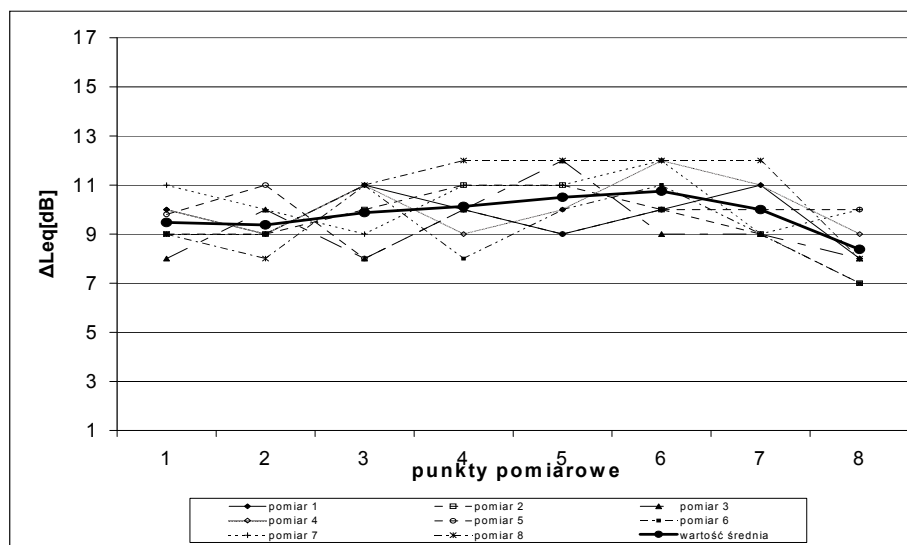
Rys. 157. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II – skrzydło odchylone o 45°



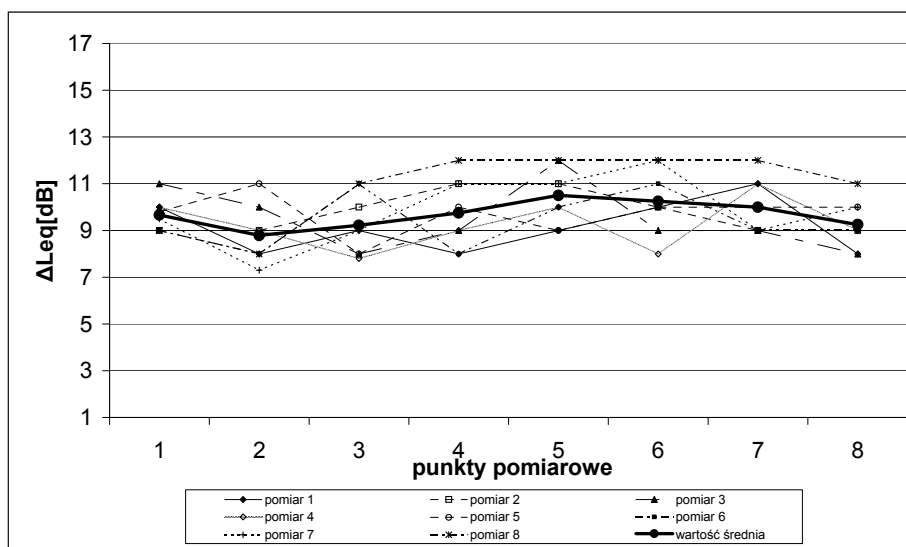
Rys. 158. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



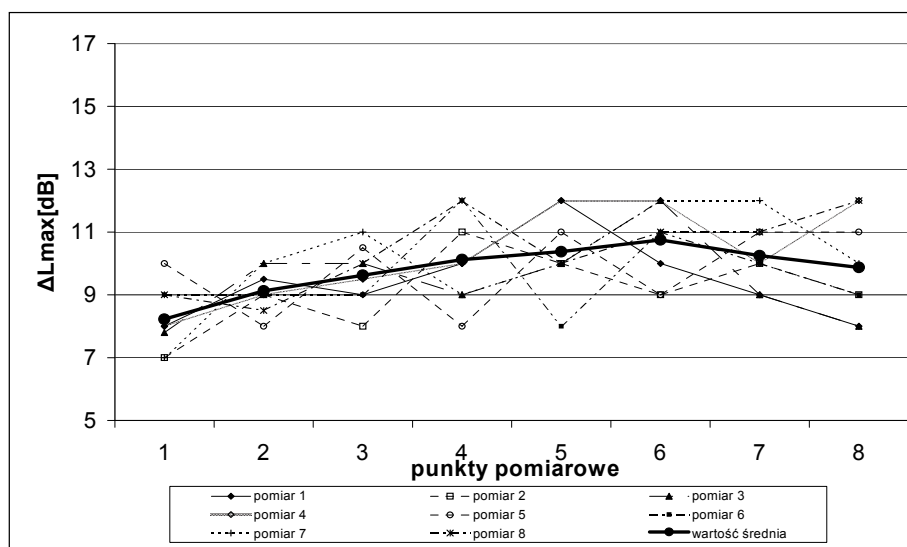
Rys. 159. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II – skrzydło odchylone o 45°



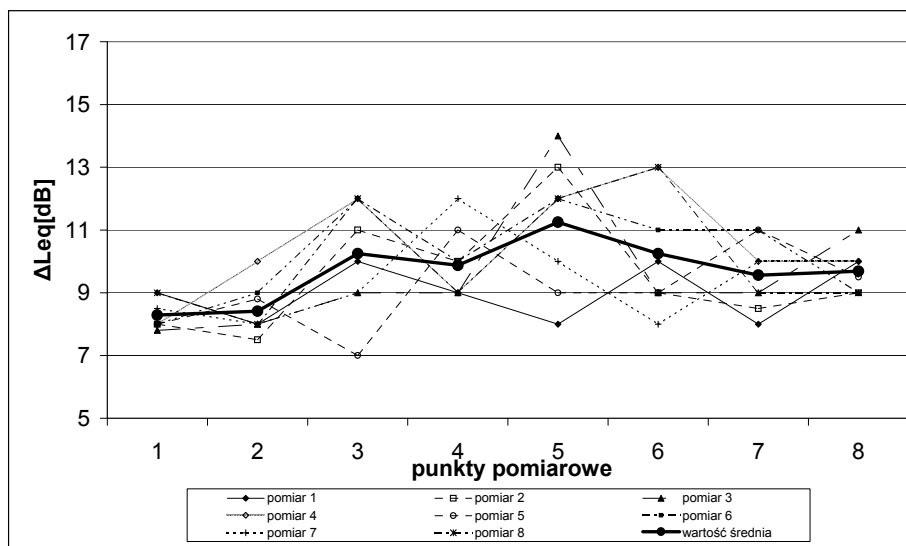
Rys. 160. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu III pionowego



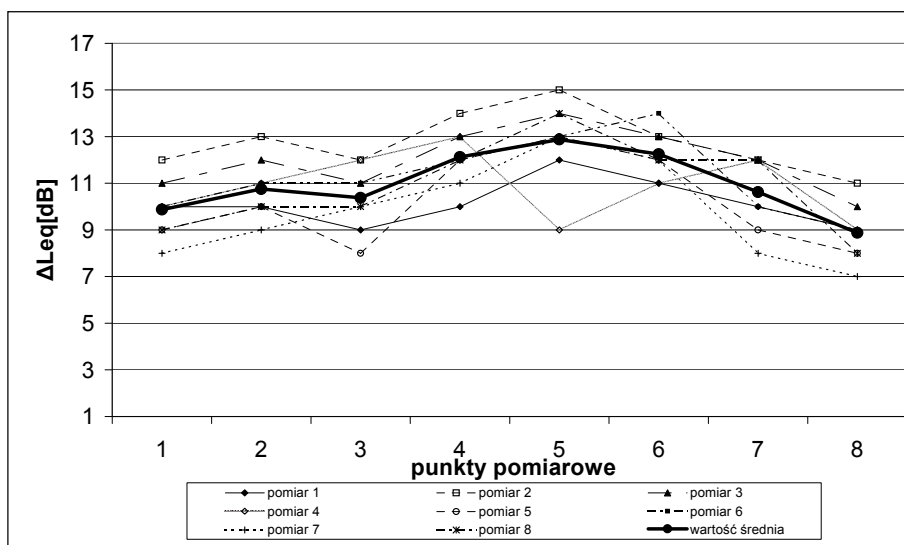
Rys. 161. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydła odchylone o 45°



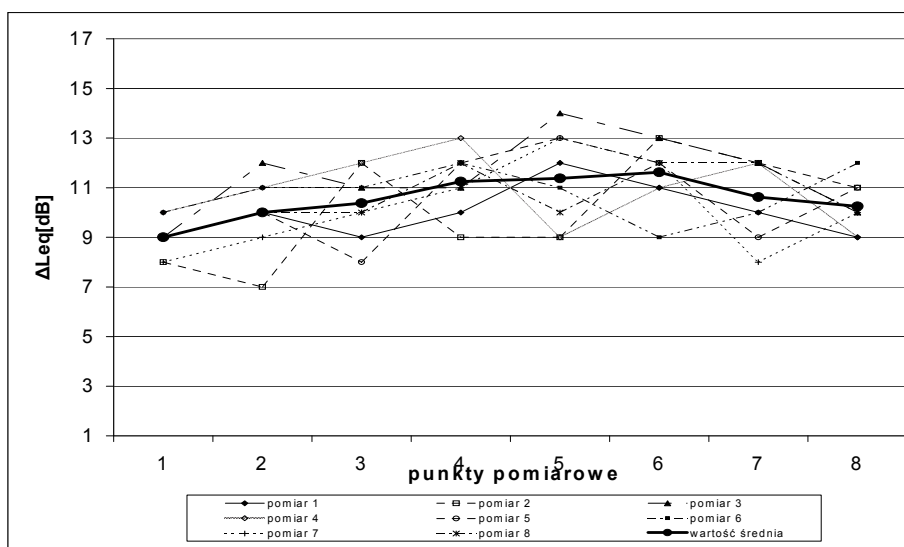
Rys. 162. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu II pionowego



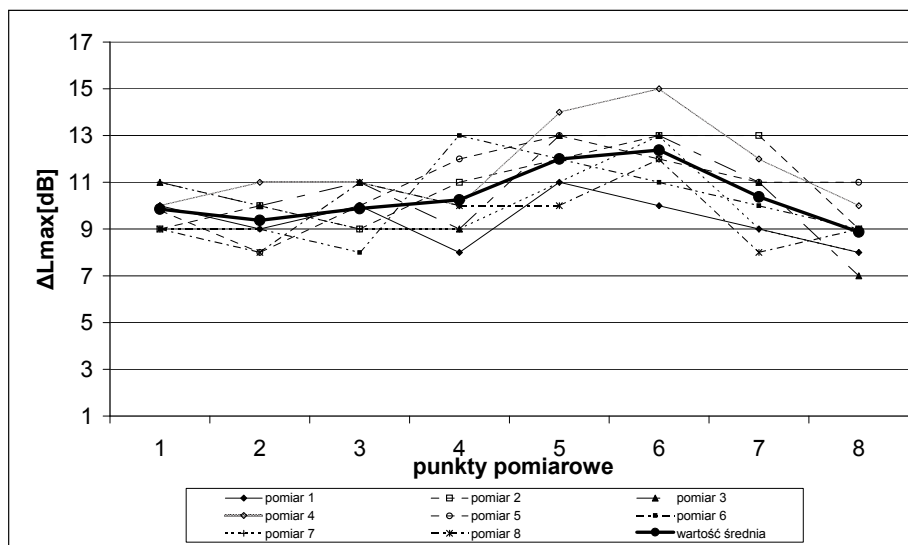
Rys. 163. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu III – skrzydła odchylone o 45°



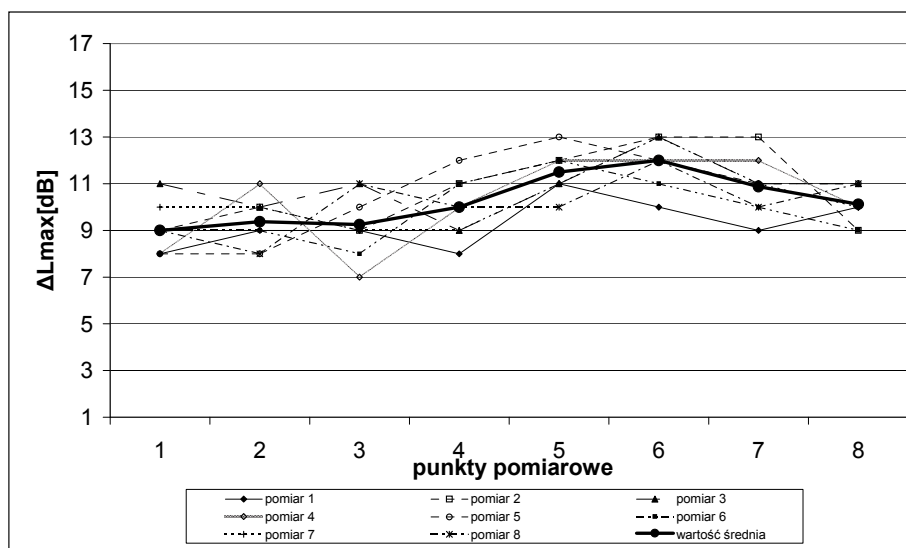
Rys. 164. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



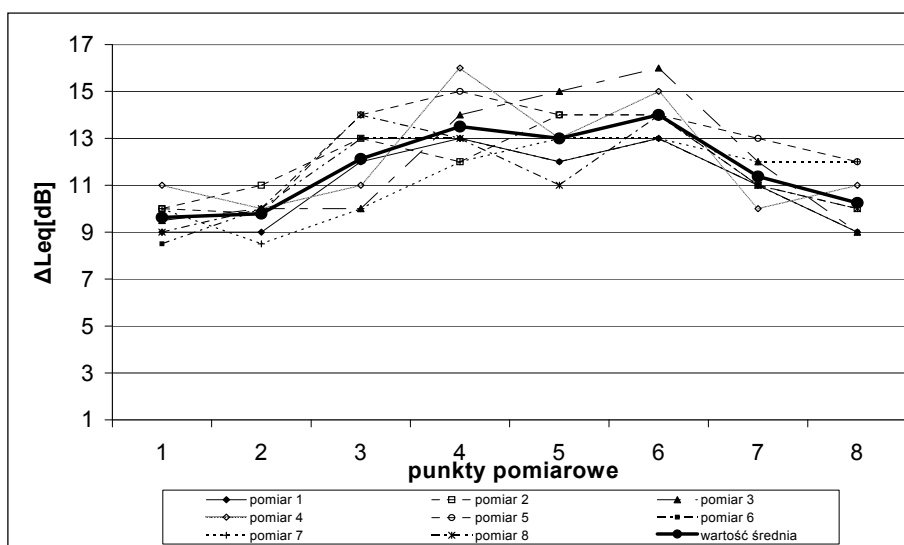
Rys. 165. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydło odchylone o 45°



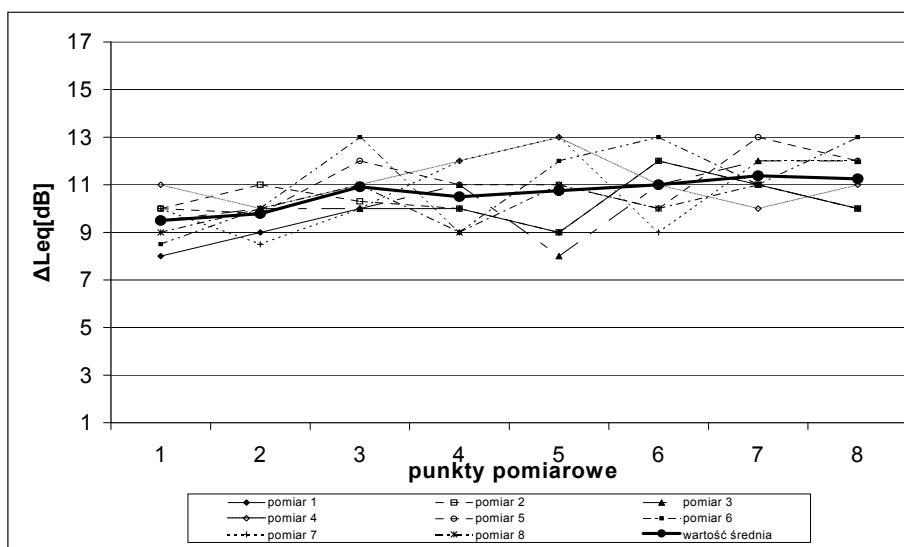
Rys. 166. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu V pionowego



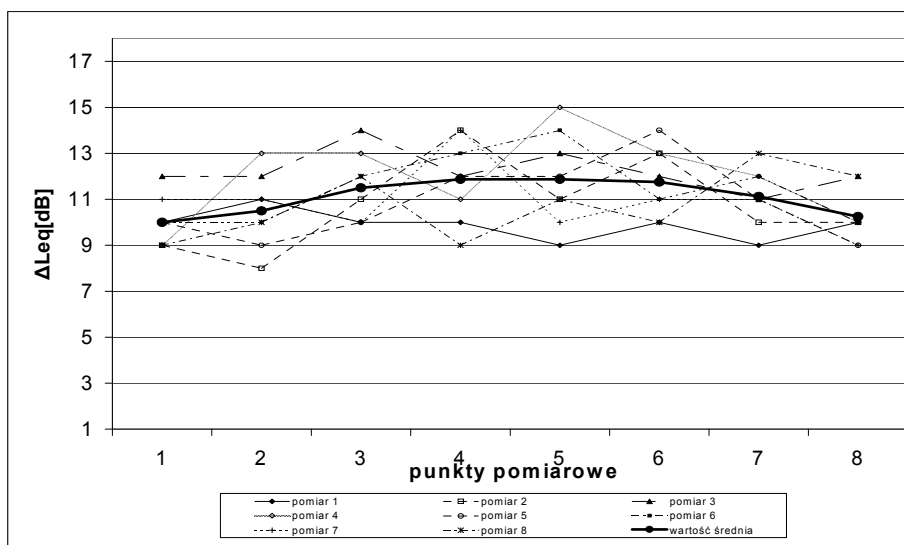
Rys. 167. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu V – skrzydło odchylone o 45°



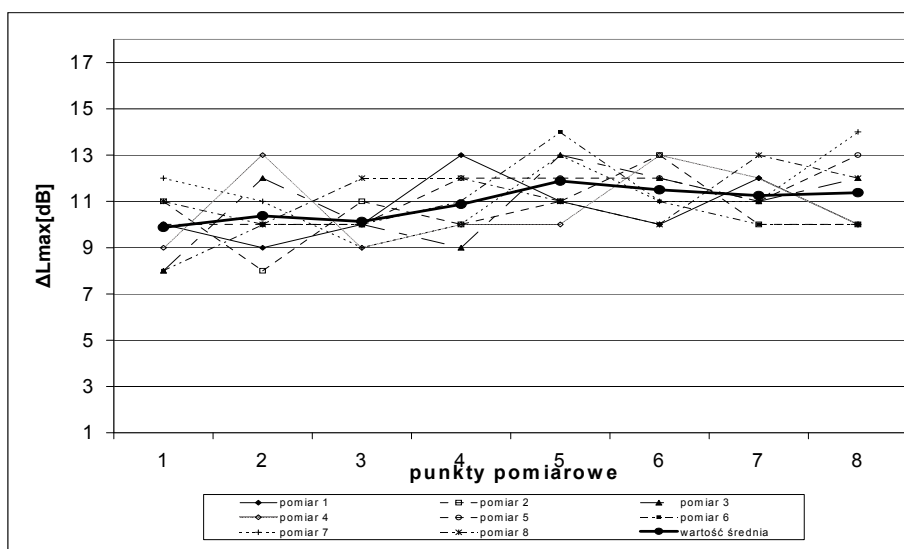
Rys. 168. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego



Rys. 169. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu VI – skrzydła odchylone o 45°

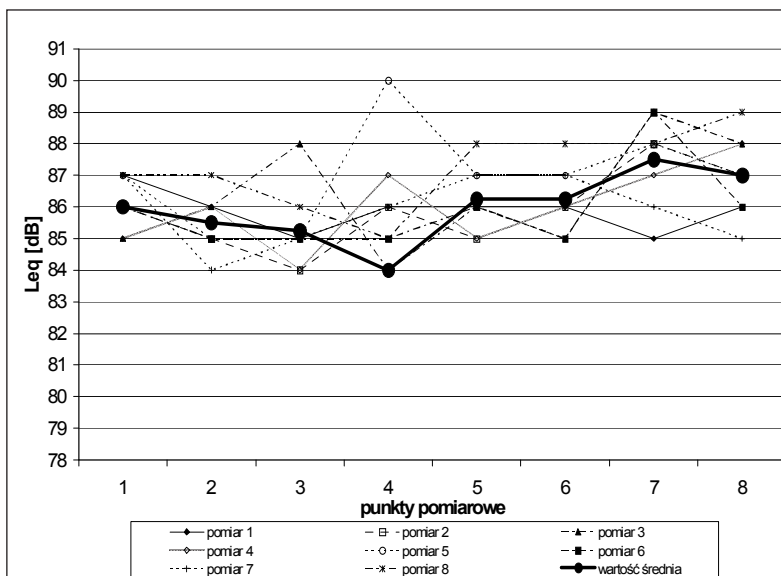


Rys. 170. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu VI pionowego

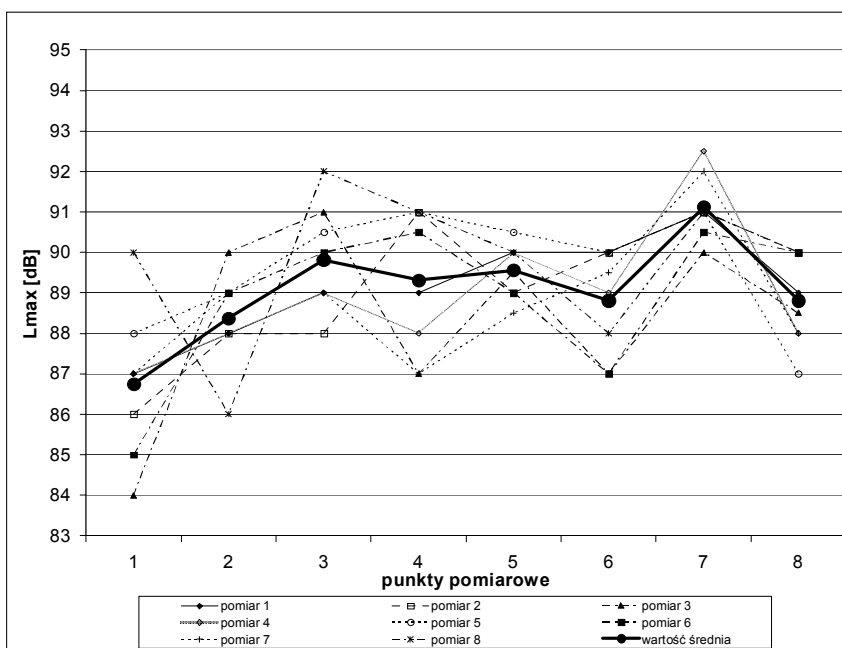


Rys. 171. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego przez młot poprzez zastosowanie ekranu VI – skrzydło odchylone o 45°

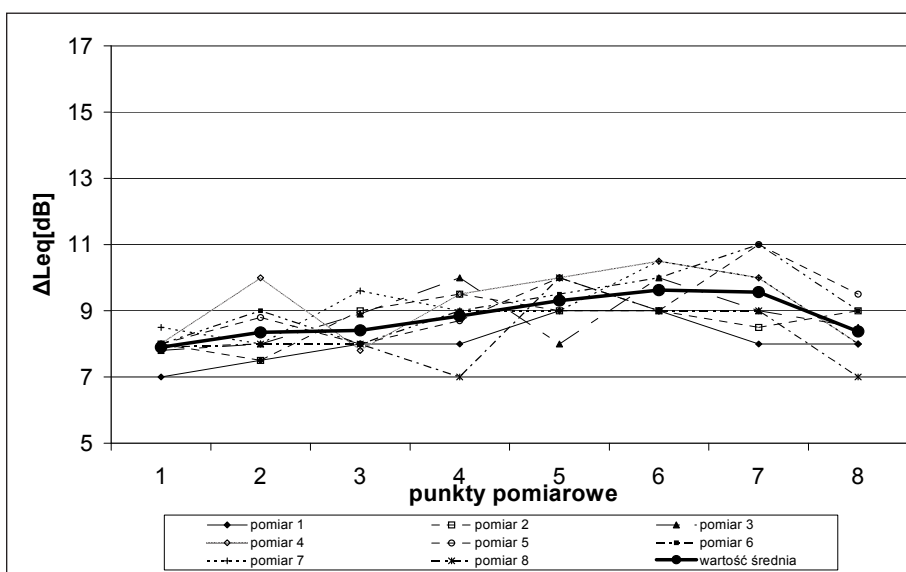
Wykresy poziomu hałasu w czasie pracy zagęszczarki poziomej bez ekranów i z ekranami



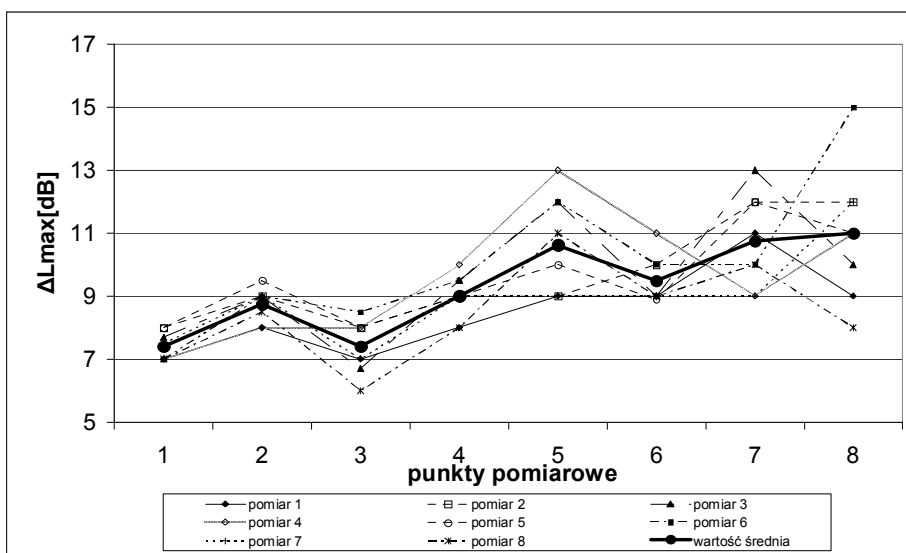
Rys. 172. Równoważny poziom hałasu emitowany w czasie pracy zagęszczarki poziomej



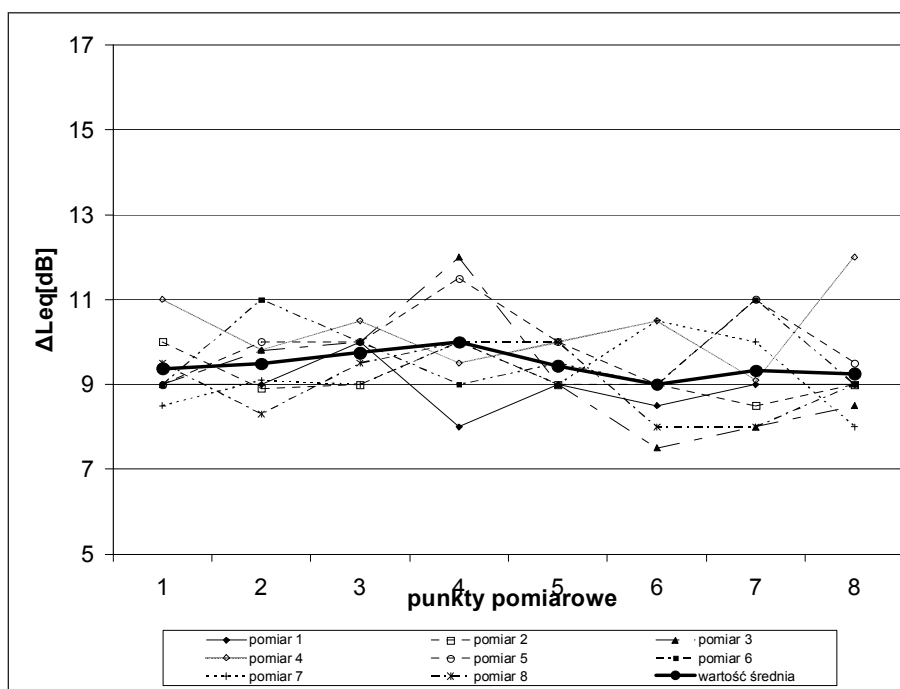
Rys. 173. Maksymalny poziom hałasu emitowany w czasie pracy zagęszczarki poziomej



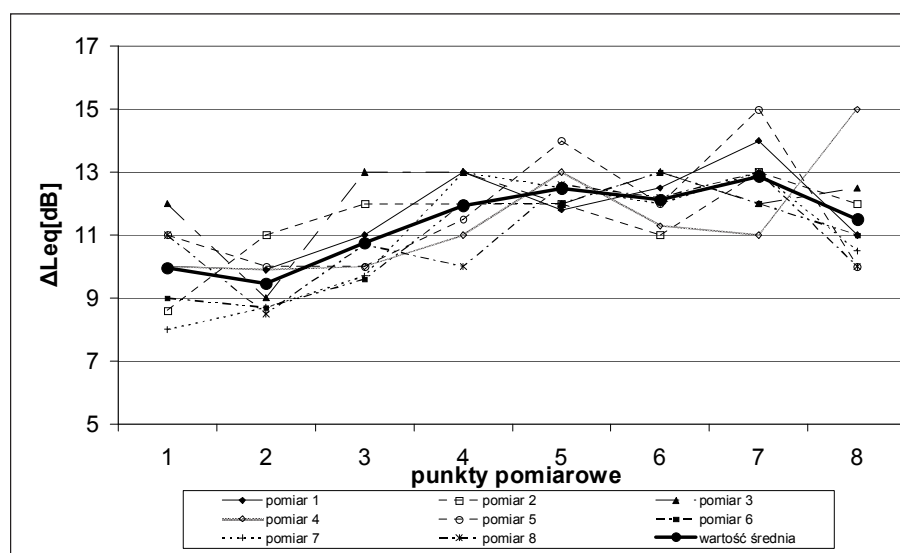
Rys. 174. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem II



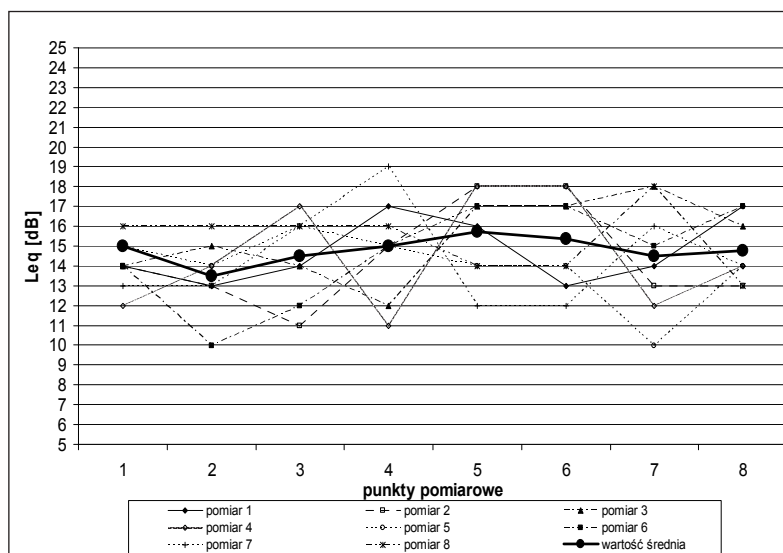
Rys. 175. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem II



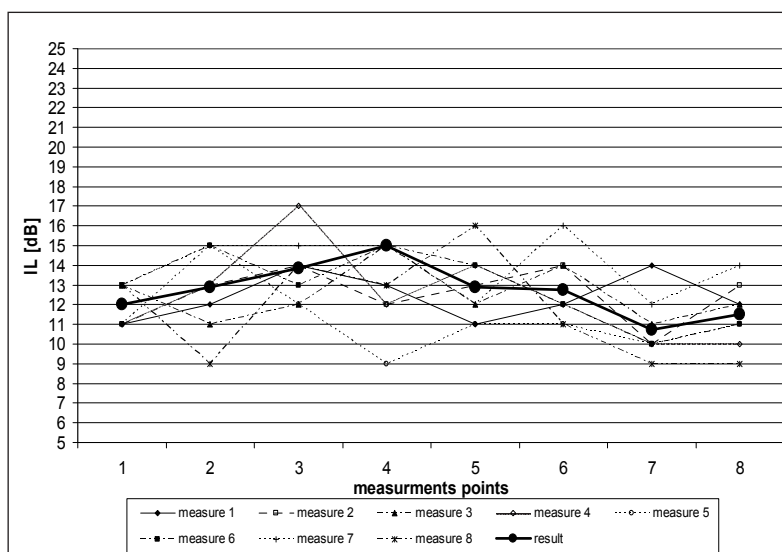
Rys. 176. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem V



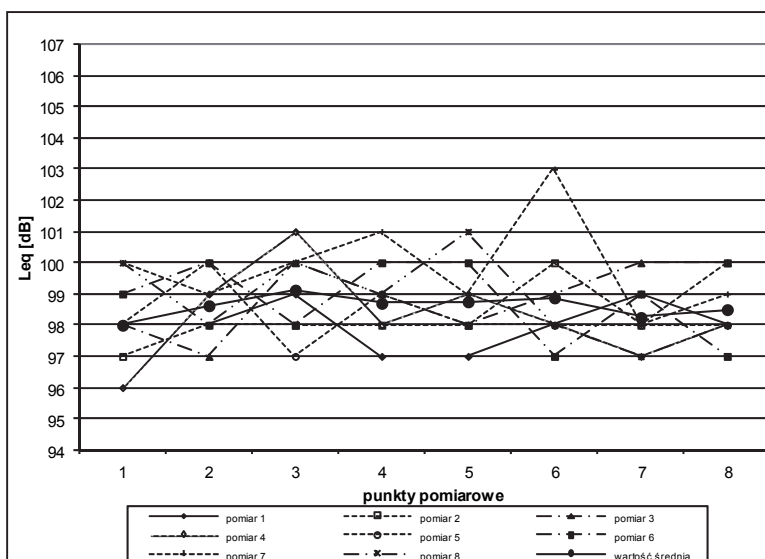
Rys. 177. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem V



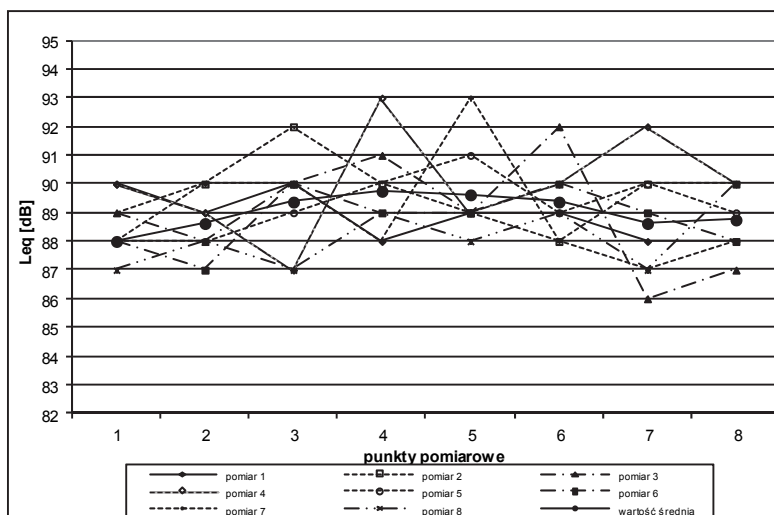
Rys. 178. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem VI



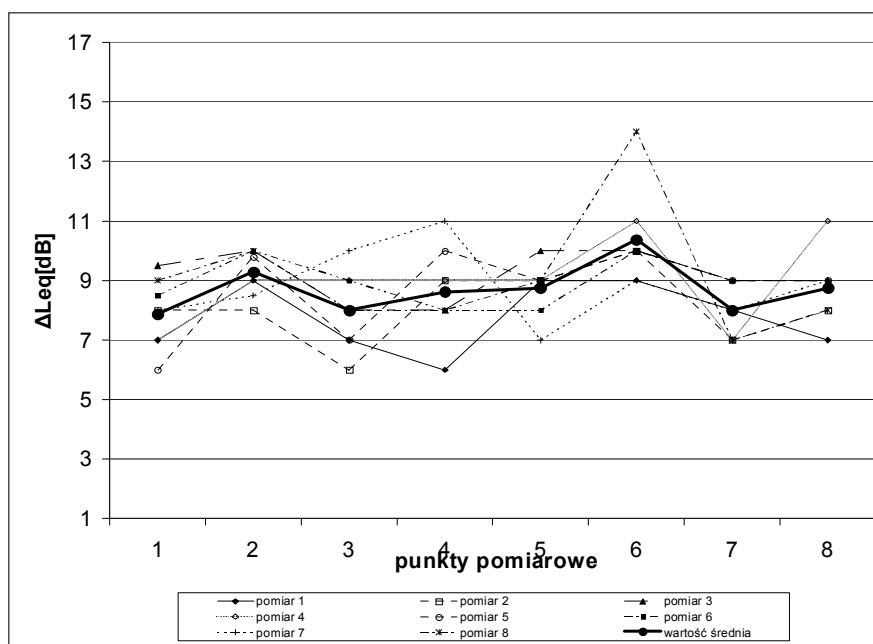
Rys. 179. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki poziomej z ekranem VI



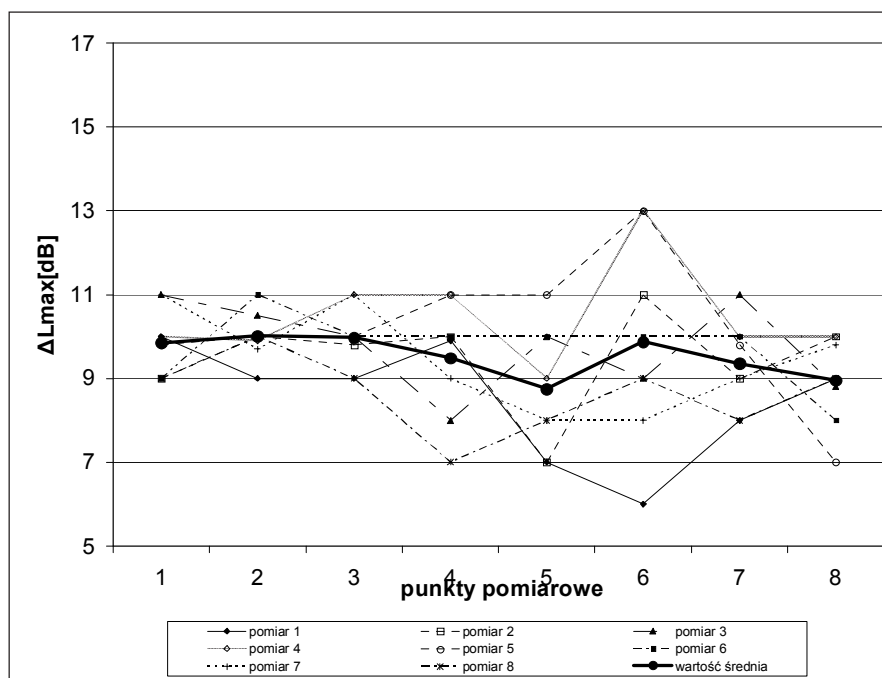
Rys. 180. Równoważny poziom hałasu w czasie pracy zagęszczarki pionowej



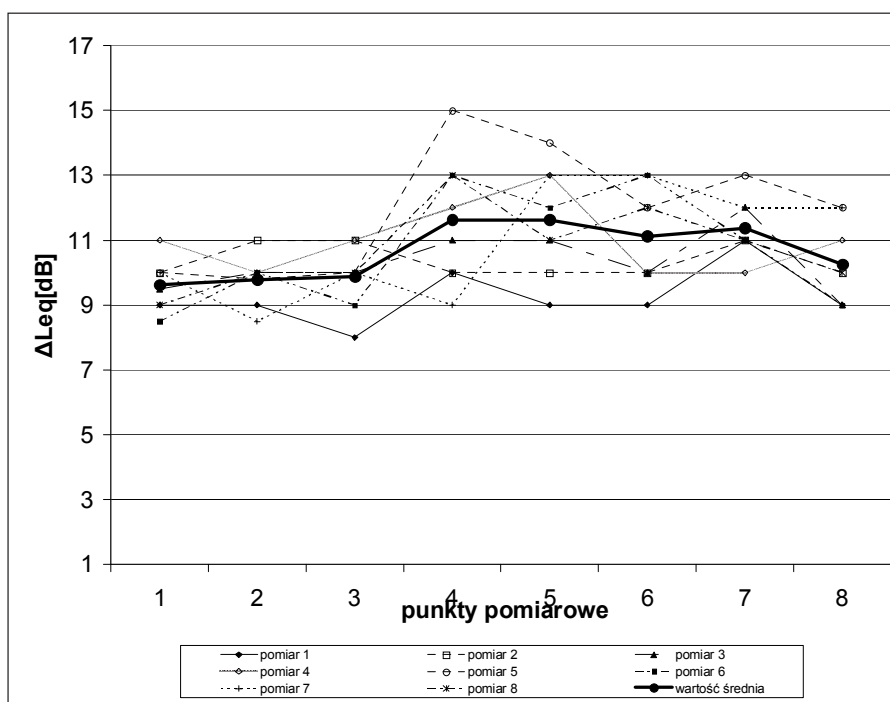
Rys. 181. Maksymalny poziom hałasu w czasie pracy zagęszczarki pionowej



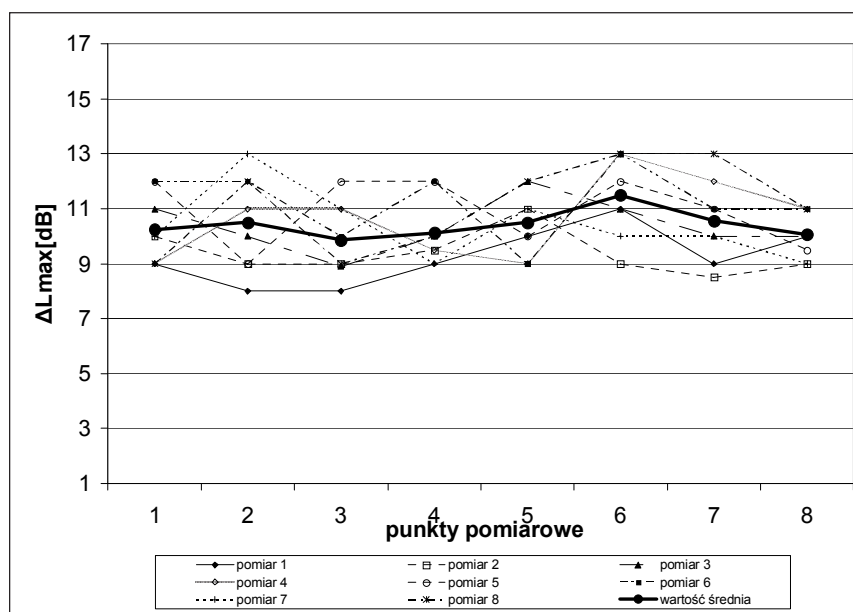
Rys. 182. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem III



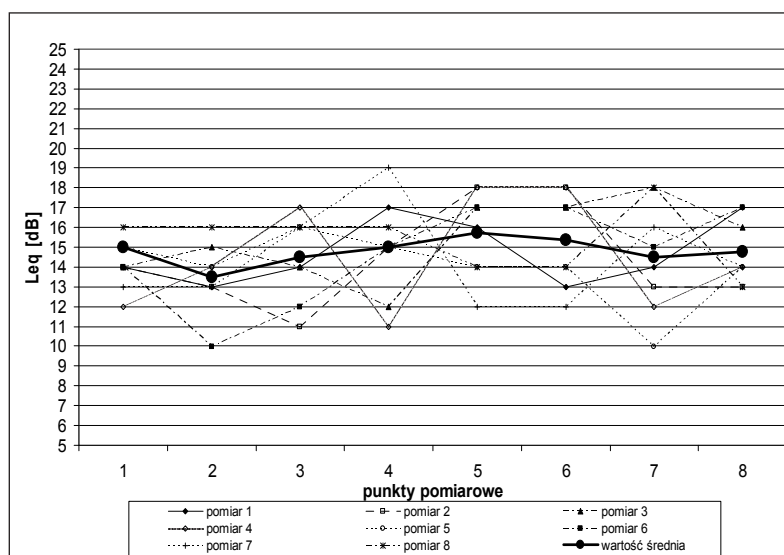
Rys. 183. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem III



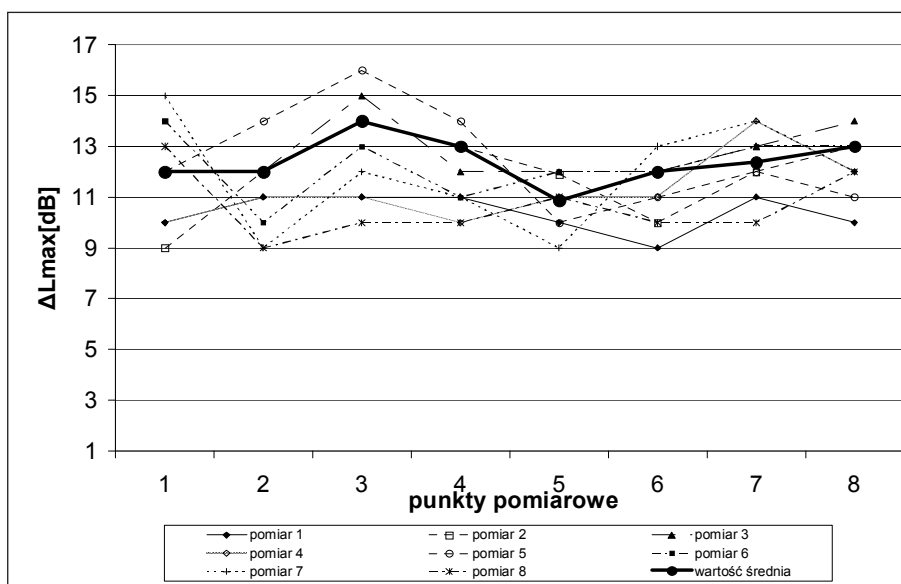
Rys. 184. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem V



Rys. 185. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem V

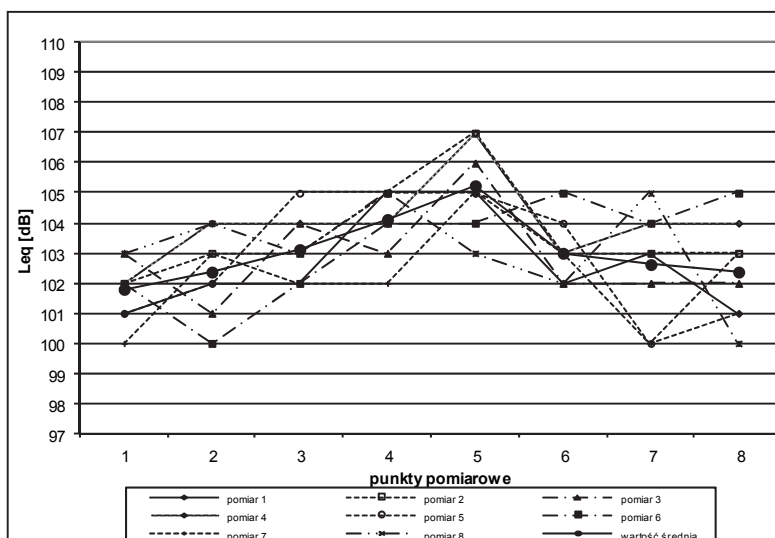


Rys. 186. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem VI

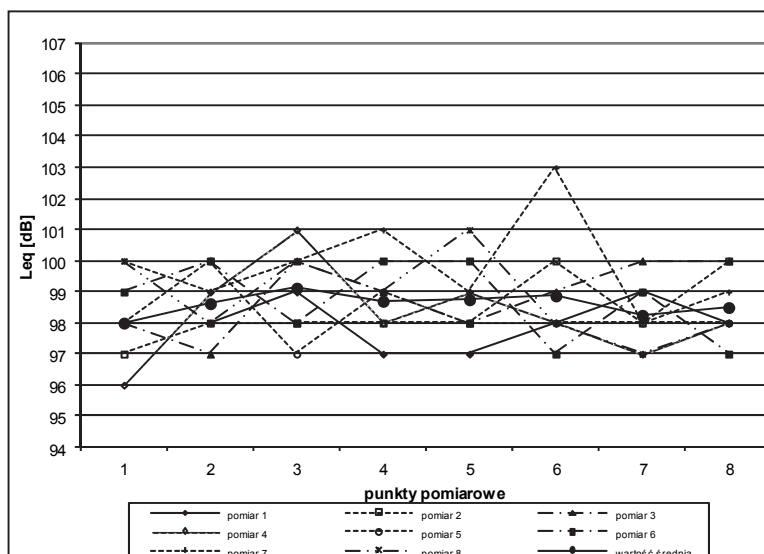


Rys. 187. Obniżenie maksymalnego poziomu hałasu emitowanego w czasie pracy zagęszczarki pionowej z ekranem VI

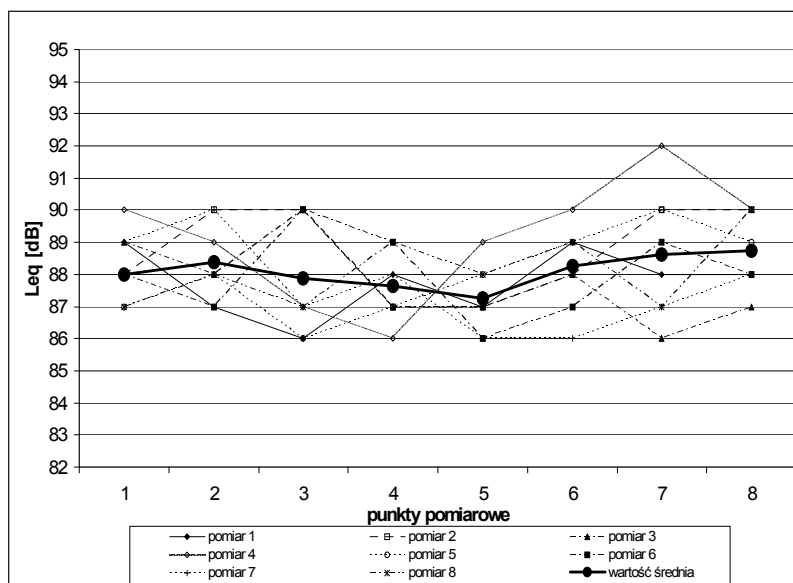
Wykresy określające zmiany poziomu hałasu w zależności od odległości mikrofonu od maszyny. Praca piły B



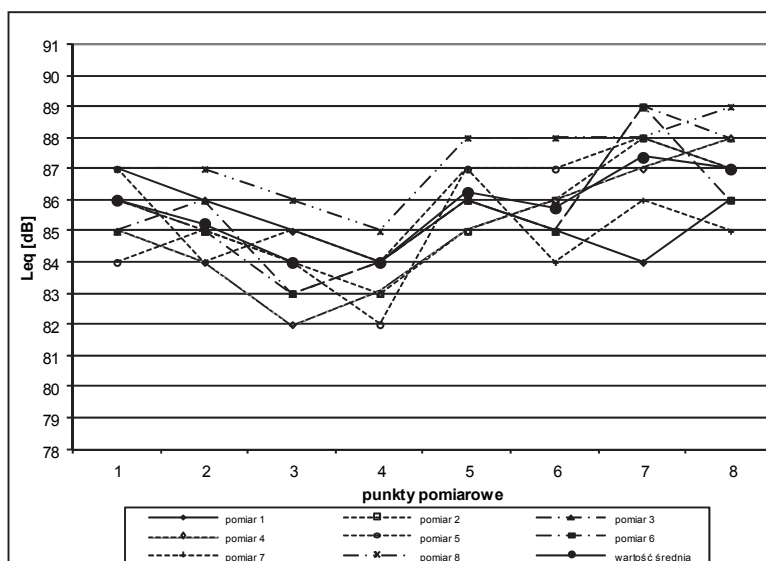
Rys. 188. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły B do betonu, pomiar w odległości 1 m od maszyny



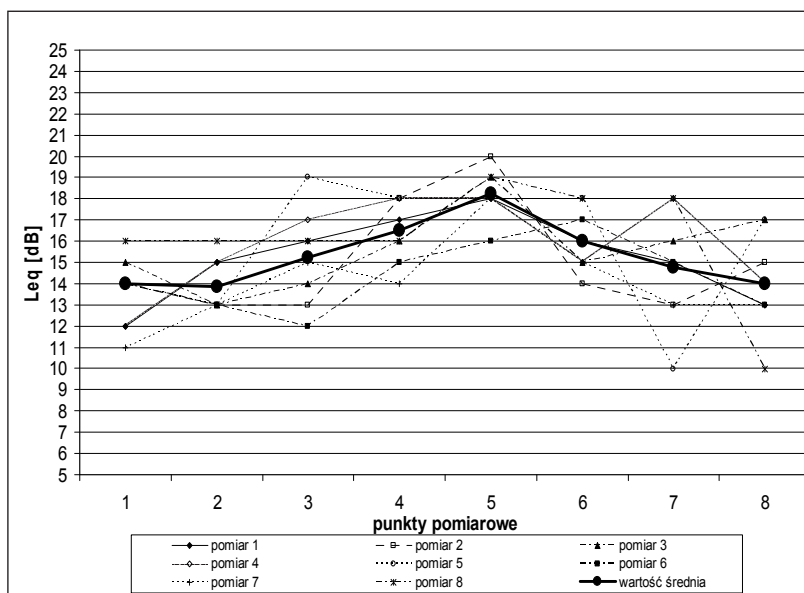
Rys. 189. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły B do betonu, pomiar w odległości 1,5 m od maszyny



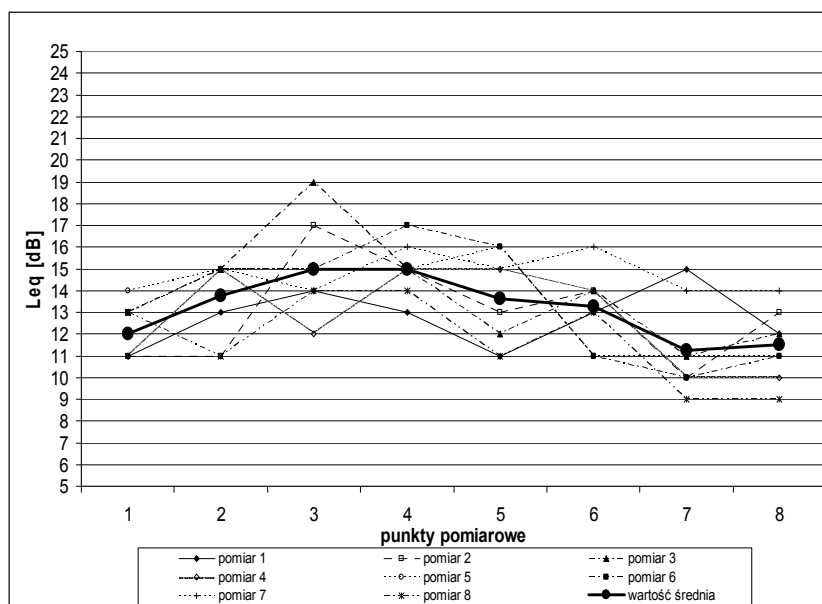
Rys. 190. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły B z ekranem V, pomiar w odległości 1 m od maszyny



Rys. 191. Równoważny poziom hałasu emitowany podczas pracy piły B z ekranem V, pomiar w odległości 1,5 m od maszyny

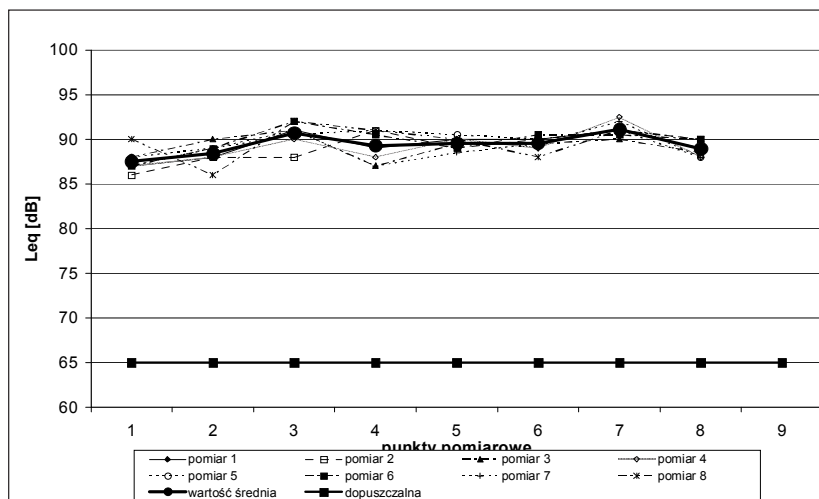


Rys. 192. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego podczas pracy piły B z ekranem V, pomiar w odległości 1 m od maszyny

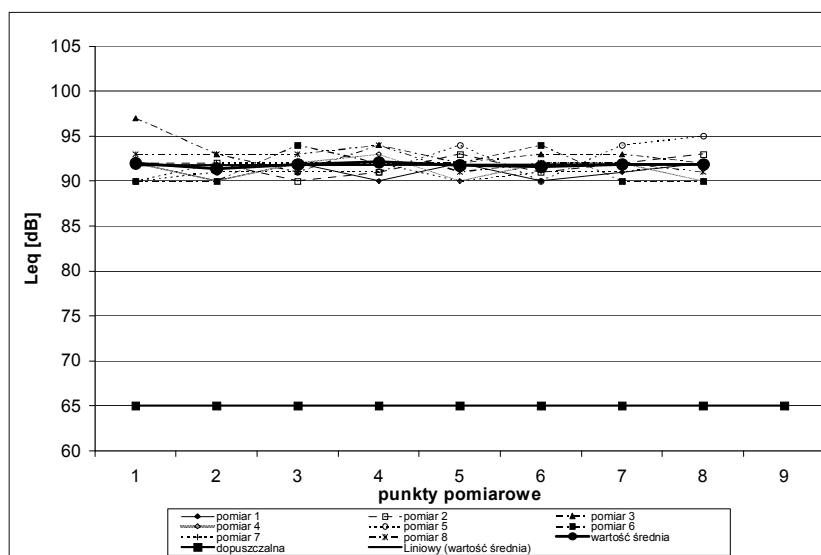


Rys. 193. Obniżenie równoważnego poziomu hałasu emitowanego podczas pracy piły B z ekranem V, pomiar w odległości 1,5 m od maszyny

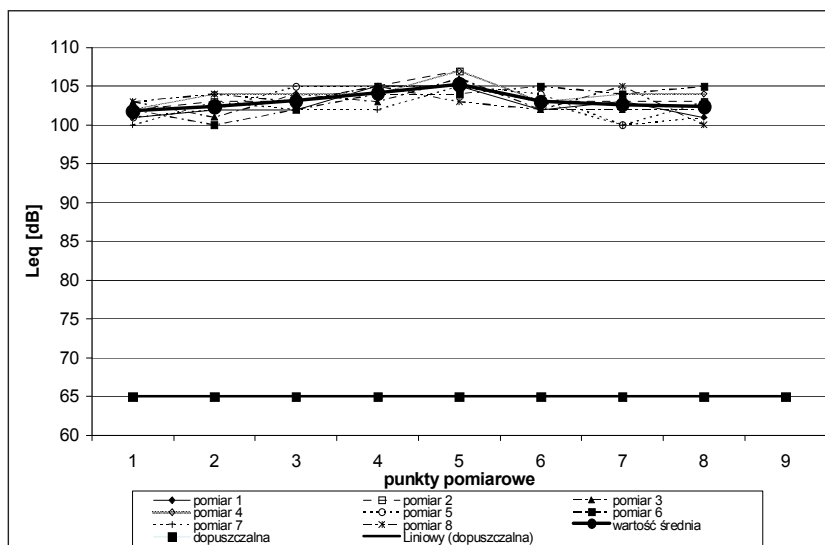
Przykłady przekroczenia dopuszczalnych poziomów hałasu przez badane maszyny



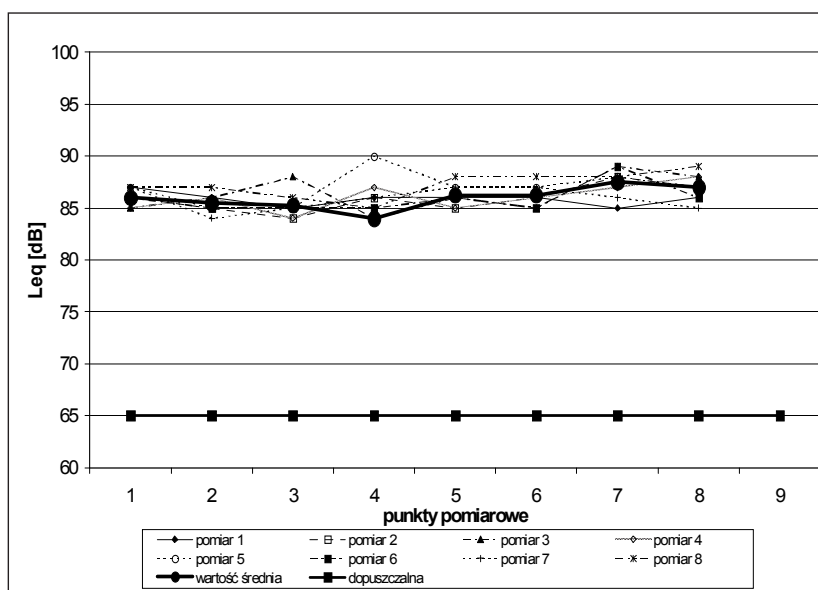
Rys. 194a. – piła A



Rys. 194b. – młot



Rys. 194c. – piła C



Rys. 194d. – zagęszczarka pozioma

Rys. 194. Porównanie poziomów równoważnych hałasu zmierzonego w czasie pracy maszyn z poziomem dopuszczalnym

Summary

Noise related to the road works, despite the short-term and local character, disrupts the condition of the acoustic environment. It is necessary to use all possible methods of protection against noise arising during repairs of roads and streets, which are carried out over a long period of time. One of the methods is the application of portable acoustic screens that reduce noise immission into the environment. The possibility of the screens application was analysed in this study.

The Authors examined the level of noise in the environment in which the small earthmoving machines were working. The noise levels measured during the operation of different machines were referred to the existing regulations. It was found that the allowed levels of environmental noise during operation of all tested machines have been exceeded from 4 dB to 42 dB. Five models of acoustic screens and two models of acoustic curtain were designed, produced and tested. The dimensions of models were adapted to the size of machines. The ability of easily displacement of models – while the machine is running – was also taken into account. Measurements of sound insulation - Insertion Loss (IL) were determined. IL represents the effectiveness of the application of acoustic screen. Reduction of the noise level for tested machines was confirmed while application of all models of acoustic screens. Value of IL varied for different screens, as well as for different frequencies of emitted sound. All tested screens presented the lowest efficacy for the frequency 125-250 Hz (IL was 2-6 dB). For the frequencies 1000-8000 Hz, effective insulation of screens reached even 15-19 dB.

In this monography, the important experimental study concerning the impact of various factors on the isolation of models screens, was presented.

ISBN 978-83-7283-786-8