

**POLITECHNIKA**



**BIAŁOSTOCKA**

**WYDZIAŁ**



**INŻYNIERII  
ZARZĄDZANIA**

**KATEDRA ZARZĄDZANIA PRODUKCJĄ**

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych z przedmiotu:

***Fizyka drewna***

Kod przedmiotu: **IMS02846, IMN02846**

**Ćwiczenie nr 3**

**AKUSTYCZNE WŁAŚCIWOŚCI DREWNA**

Opracował:

dr inż. Arkadiusz Łukjaniuk

Białystok 2020

*Wszystkie prawa zastrzeżone*

*Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej instrukcji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.*

---

Laboratorium „Fizyka drewna”

**Ćw. Nr3 „Akustyczne właściwości drewna”**

**CEL ĆWICZENIA:** Zapoznanie studentów z metodami i techniką pomiaru natężenia dźwięku, właściwościami akustycznymi drewna oraz opanowanie umiejętności pracy z miernikiem dźwięku SON-50 i poznanie jego możliwości pomiarowych.

## 1. PODSTAWY TEORETYCZNE

Dźwięk jest zjawisko falowe wywołane drganiem cząstek dowolnego ośrodka sprężystego (powietrza, ciał stałych, cieczy...). Źródłem dźwięku są pracujące maszyny, instalacje wentylacyjne, środki transportu, ludzie, itp. Dźwięk, który ze względu na poziom, charakter, miejsce i czas występowania, staje się uciążliwym lub szkodliwym nazywa się hałasem.

**Hałas o poziomie ustalonym** - hałas, którego poziom dźwięku  $A$  w określonym miejscu zmienia się nie więcej niż o **5 dB**.

**Hałas o poziomie nieustalonym** - hałas, którego poziom dźwięku  $A$  w określonym miejscu zmienia się więcej niż o **5 dB**.

**Hałas impulsowy** – hałas, który składa się z jednego lub kilku impulsów dźwiękowych, z których każdy trwa nie dłużej niż **0,2s**.

**Izolacyjność akustyczna** od dźwięków powietrznych charakteryzuje zdolność przegrody do ograniczenia przenikania przez nią energii akustycznej wytwarzanej w powietrzu. Im wyższy wskaźnik izolacyjności akustycznej wyrażony w (dB), tym wyższa jest skuteczność przegrody. Dźwięk po dotarciu do przegrody może ulec odbiciu, rozproszeniu, przenikaniu oraz pochłanianiu w strukturze przegrody.

Współczynnik pochłaniania dźwięku – wielkość opisująca właściwości dźwiękochłonne materiału. Współczynnik ten przyjmuje wartości  $0 \leq \alpha \leq 1$ , gdzie wartość 0 oznacza, że fala dźwiękowa została w całości odbita od materiału, a 1 świadczy o całkowitym pochłonięciu energii dźwiękowej przez próbkę. Wielkość tę można zdefiniować jako iloraz energii pochłoniętej przez powierzchnię do całkowitej energii padającej na daną powierzchnię:

$$\alpha = E_a / E,$$

gdzie:  $E_a$  i  $E$  – odpowiednio energia akustyczna pochłonięta przez powierzchnię i padająca na powierzchnię.

Wyróżniamy następujące współczynniki:

$\alpha_s$  – pogłosowy współczynnik pochłaniania dźwięku, wyznaczany w laboratorium wg normy PN-EN ISO 354 dla pasm 1/3 oktawy (tercjowych) z zakresu 100 Hz-5000 Hz;

$\alpha_p$  – praktyczny współczynnik pochłaniania dźwięku, obliczany wg normy PN-EN ISO 11654 dla pasm oktawowych (125 Hz – 4000 Hz), jako wartość

średniej arytmetycznej współczynników pochłaniania dźwięku  $\alpha_s$  dla pasm 1/3 oktawy znajdujących się w danej oktawie. Wartości średnie zaokrągla się z dokładnością do 0,05, natomiast wartości  $\alpha_p > 1$  przyjmuje się jako  $\alpha_p = 1$ ;  $\alpha_w$  – wskaźnik pochłaniania dźwięku, jednoliczbowy wskaźnik wyliczany wg PN-EN ISO11654 z przesuniętej charakterystyki odniesienia, przy użyciu wartości  $\alpha_p$ .

Współczynnik rozpraszania dźwięku  $s$ :

$$s = 1 - E_{od}/E,$$

gdzie:  $E_{od}$  i  $E$  – odpowiednio energia zwierciadlanie odbita od badanego materiału i całkowita energia odbita od materiału zmierzona w polu rozproszonym.

Do najważniejszych parametrów dotyczących właściwości akustycznych materiałów należą: pochłanianie dźwięku, izolacyjność akustyczna oraz rozpraszanie dźwięku. Parametry akustyczne poszczególnych komponentów mebli zależne są od ich cech fizycznych takich jak: porowatość, włóknistość, grubość, gęstość. Porowatość odgrywa dużą rolę w całym zakresie częstotliwości, dlatego materiały porowate mogą być skutecznie stosowane w układach ograniczających hałas. Włóknistość - w przypadku materiałów włóknistych (maty włókniste, tkaniny, filce) następuje zamiana energii akustycznej na ciepło, w wyniku pobudzenia do drgań i tłumienia tychże drgań w skutek tarcia wewnętrznego w materiale. Grubość - wraz ze wzrostem grubości porowatych absorberów, rośnie pochłanianie dźwięku przy niższych częstotliwościach, jak i izolacyjność akustyczna. Gęstość - wraz ze wzrostem gęstości poprawia się izolacyjność akustyczna materiału, lecz od pewnej wartości zmniejsza się jego zdolność do pochłaniania dźwięku.

Akustyczne właściwości drewna są to cechy, które wywierają wpływ na przenikanie dźwięku przez drewno. Właściwości takie mają tylko niektóre rodzaje drewna, określane jako materiały drzewne renesansowe, np. świerk, jodła, jawor, klon. O właściwościach akustycznych drewna jako materiału rezonansowego decydują przede wszystkim takie czynniki, jak: prędkość rozchodzenia się dźwięku w drewnie oraz pochłanianie i tłumienie dźwięku. Średnia prędkość rozchodzenia się dźwięku w drewnie w zależności od kierunku przebiegu (wzdłuż włókien, promieniowo i stycznie) wyraża się stosunkiem  $15 \div 5 \div 3$ . Pochłanianie i tłumienie dźwięku w drewnie określa się za pomocą współczynnika pochłaniania wyrażonego stosunkiem energii dźwiękowej pochłoniętej przez drewno do energii dźwiękowej padającej na jego powierzchnię. Badanie izolacyjności drewna wykazują, że współczynnik pochłaniania dźwięku przez drewno jest niewielki, a tym samym mała jest również jego dźwiękochłonność. Izolacyjność drewna zależy w dużym stopniu od jego porowatości oraz gęstości. Gładkie płyty wytworzone z drewna mają niskie współczynniki pochłaniania dźwięku, ale

---

Laboratorium „Fizyka drewna”

**Ćw. Nr3 „Akustyczne właściwości drewna”**

są dobrymi izolatorami. Z materiałów drzewnych najlepsze właściwości izolacyjne mają płyty pilśniowe porowate oraz korkowe lub asfaltowo-korkowe. Drewno wykazuje korzystne właściwości pochłaniania dźwięku, o ile użyto je z zachowaniem układu naturalnej porowatej struktury. Natomiast tworzywa drzewne – płyty strukturalne i płyt o powierzchni porowatej wykazują wyższe właściwości pochłaniania dźwięku. Drewno w porównaniu z tkaninami, filcami czy piankami PU wykazuje niższe charakterystyki akustyczne, ale odpowiednio wybrane i bez wykończenia powłoką lakierniczą ma spore możliwości. Może stanowić ważny element w układzie tapicerskim pełniąc jednocześnie funkcję absorbera i izolatora dla dźwięku.

W tabeli 1 przedstawione zostały zależności średniego współczynnika pochłaniania dźwięku od rodzaju drewna i częstotliwości.

Tabela 1. Zależności średniego współczynnika pochłaniania dźwięku od rodzaju drewna i częstotliwości

Gatunek drewna	Częstotliwość [Hz]						Średni współczynnik pochłaniania dźwięku
	125	250	500	1000	2000	4000	
Sosna	0,01	0,02	0,03	0,11	0,19	0,17	0,09
Sapele	0,01	0,02	0,03	0,11	0,19	0,17	0,09
Wiąz	0,01	0,02	0,02	0,08	0,16	0,15	0,07
Dąb	0,01	0,01	0,02	0,06	0,17	0,14	0,07
Jesion	0,01	0,01	0,02	0,06	0,18	0,15	0,07
Meranti	0,01	0,01	0,02	0,07	0,12	0,14	0,06
Olcha	0,01	0,02	0,02	0,07	0,11	0,11	0,06
Topola	0,01	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,03
Drzwi drewniane, masywne	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09
Płyta pilśniowa porowata o grubości 12,5 mm	0,15	0,21	0,29	0,38	0,48	0,38	0,32

Klasyfikacji wyrobów dźwiękochłonnych dokonuje się w oparciu o wartość wskaźnika pochłaniania dźwięku  $\alpha_w$  wg normy EN ISO 11654. Materiał można zaklasyfikować do 5 różnych klas oznaczonych od A do E. Klasa A oznacza najwyższe własności dźwiękochłonne a klasa E najniższe. W tabeli 2 przedstawione zostały przypisane odpowiednim klasom wartości wskaźnika pochłaniania dźwięku.

Tabela 2. Klasyfikacja materiałów dźwiękochłonnych

Klasa pochłaniania dźwięku	$\alpha_w$
A	0,9-1,00
B	0,8-0,85
C	0,6-0,75
D	0,3-0,55
E	0,15-0,25
Nie klasyfikowane	0,00-0,10

Współczynnik transmisji dźwięku  $\tau$ :

$$\tau = P_{prz} / P,$$

gdzie:  $P$  i  $P_{prz}$  – odpowiednio moc dźwięku emitowanego i przepuszczonego.

Straty w transmisji dźwięku lub wskaźnik izolacyjności akustycznej  $R$ :

$$R = -10 \log_{10} \tau.$$

Są miarą skuteczności ściany, podłogi, drzwi lub innej przegrody w ograniczaniu przepływu dźwięku. Straty w transmisji dźwięku zależą od częstotliwości i strata jest zwykle większa przy wyższych częstotliwościach. Jednostką miary dla strat w transmisji dźwięku jest decybel (dB). Im większa wartość straty w transmisji ściany, tym lepiej działa ona jak bariera dla niechcianego hałasu.

Fale dźwiękowe (w zależności od konfiguracji źródła dźwięku) mogą być kuliste, płaskie lub cylindryczne i charakteryzują się następującymi parametrami:

- częstotliwością  $f$  w Hz;
- prędkością dźwięku  $c$  w m/s (zależna jest od ośrodka i rodzaju ośrodka drgającego – w powietrzu  $c \approx 340$ m/s);
- długością fali  $\lambda$  w m:

$$\lambda = \frac{c}{f}.$$

Ze względu na częstotliwość i długość fali dźwięki dzielą się na:

- **infradźwięki** (niesłyszalne dla ucha ludzkiego) o częstotliwości  $f < 16$ Hz ( $\lambda > 21$ m - wytwarzane przez ciężkie pojazdy samochodowe, samoloty, sprężarki tłokowe, turbozespoły, rurociągi, itp.);

- *dźwięki słyszalne* o zakresie częstotliwości:  $16 < f < 20000 \text{ Hz}$  i długości fali:  $0,017 < \lambda < 21 \text{ m}$ ;
- *ultradźwięki* (niesłyszalne dla ucha ludzkiego) o częstotliwości  $f > 20000 \text{ Hz}$  ( $\lambda < 0,017 \text{ m}$  – źródło: aparatura rehabilitacyjna, ultradźwiękowa aparatura diagnostyczna i pomiarowa, aparatura medyczna, itp.).

Każde źródło dźwięków charakteryzuje się *mocą akustyczną* ( $L_p$  w  $\text{dB}$  – jest to ilość energii jaką wysyła źródło dźwięku w jednostce czasu).

Natomiast *ciśnienie akustyczne* ( $p_a$  w  $\text{Pa}$ ) jest różnica pomiędzy chwilową wartością ciśnienia powstałego w określonym punkcie pola pod działaniem fal akustycznych, a wartością ciśnienia statycznego.

Poziom mocy akustycznej  $L'_p$ :

$$L'_p = 10 \lg \frac{P'_a}{P'_o} \text{ [dB]}, \quad (1)$$

gdzie:  $P'_a$  - moc akustyczna źródła w  $\text{W}$ ;

$P'_o$  - moc akustyczna odniesienia ( $P'_o = 10^{-12} \text{ W}$ ) zbliżona do progu słyszalności.

Poziomu natężenia dźwięku  $L_J$ :

$$L_J = 10 \lg \frac{J}{J_o} \text{ [dB]}, \quad (2)$$

gdzie:  $J_o$  - natężenie dźwięku odniesienia, ( $J_o = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ ).

W praktyce pomiarowej poziom ciśnienia akustycznego oblicza się ze wzoru:

$$L_p = 20 \lg \frac{p_a}{p_o} \text{ [dB]}, \quad (3)$$

gdzie:  $p_a$  - ciśnienie akustyczne w  $\text{Pa}$ ;

$p_o$  - ciśnienie akustyczne odniesienia ( $p_o = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$ ).

Wartość ciśnienia akustycznego wytworzonego przez punktowe źródło dźwięku zmienia się w zależności od odległości  $r$  od źródła:

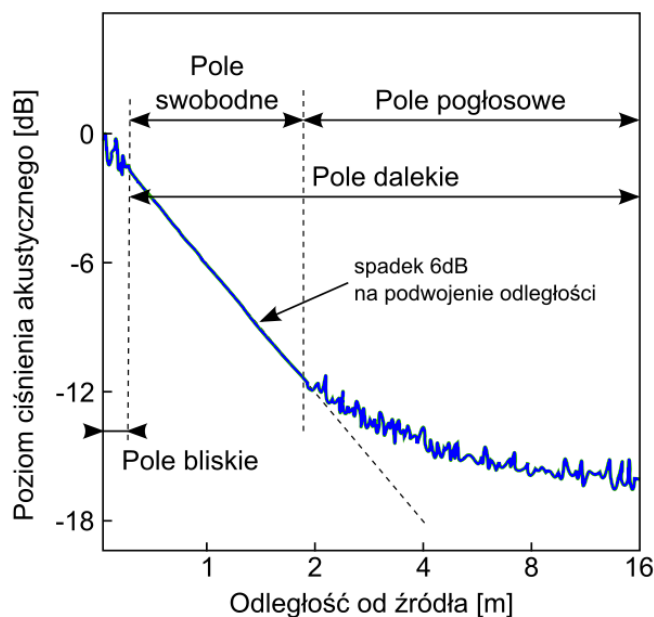
$$p_a = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{P \rho c}{2\pi}}, \quad (4)$$

gdzie:  $P$  – amplituda ciśnienia akustycznego;

$\rho$  – gęstość ośrodka;

$c$  – prędkość rozchodzenia się fali akustycznej w ośrodku.

Na rys.1 przedstawiony jest rozkład ciśnienia akustycznego w funkcji odległości od źródła. Wielkość pola bliskiego zależy od częstotliwości, rozmiarów źródła i stosunków fazowych jego powierzchni promieniujących. W polu swobodnym dominuje energetycznie sygnał ze źródła dźwięku i spełnione jest prawo odwrotnej proporcjonalności. Z powodu nakładania się fal odbitych od powierzchni ograniczających źródło - pole to istnieje tylko w niewielkiej odległości od źródła. W obszarze pola pogłosowego występują fluktuacje ciśnienia akustycznego wynikające z interferencji fali bezpośredniej i fal odbitych, a wartość ciśnienia akustycznego zmienia się nieznacznie z odległością od źródła.



Rys. 1. Rozkład ciśnienia akustycznego w zależności od odległości od źródła dźwięku.

Istnieją dwa różne podejścia dla określenia poziomu mocy akustycznej źródła:

- przeprowadzać pomiary w strefie, gdzie dominuje pole swobodne i gdzie jest słaby wpływ pola pogłosowego (dźwięki odbite od ścian pomieszczenia i jego wyposażenia) oraz uwzględnić korektę (poprawkę) środowiskową tła;
- przeprowadzać pomiary w strefie, w której dominuje pole pogłosowe, czyli z daleka od źródła.

W obydwu przypadkach charakterystyki środowiska badawczego wpływają wyraźnie na dokładność pomiaru poziomu mocy akustycznej.

W pierwszej metodzie poziom mocy akustycznej maszyny wyznacza się na zasadzie próbkowania pola akustycznego w sąsiedztwie źródła we



wszystkich kierunkach, a przetworniki umieszczone są na powierzchni otaczającej źródło mierzą:

- ciśnienie akustyczne – jest to metoda zwana „klasyczną” i używa się do tego celu zwykle mikrofony;
- natężenie dźwięku - sondy z dwoma mikrofonami, wyznaczające natężenie dźwięku w punkcie, w którym się znajdują (pomiar natężenia dźwięku w polu pogłosowym).

Bez względu na zastosowaną metodę, wyznaczenie emisji hałasu danego źródła jest zakłócone przez emisje dźwiękową, zwaną „hałasem tła”. Należy więc wprowadzać do wyników pomiarów poprawkę uwzględniającą hałas tła.

Do pomiaru poziomu hałasu używa się mikrofonów. Mikrofony mogą być:

- kwasowe;
- węglowe;
- piezoelektryczne;
- dynamiczne (magnetoelektryczne);
- pojemnościowe (elektrostatyczne);
- laserowe;
- światłowodowe.



Rys. 2. Mikrofony: a) węglowy; b) dynamiczny; c) pojemnościowy; d) budowa mikrofonu pojemnościowego.

Na rys. 2 przedstawione są wybrane rodzaje mikrofonów. Omówię budowę i zasadę działania mikrofonu pojemnościowego, ponieważ ten mikrofon jest używany podczas badań w tym laboratorium. Proponuję studentom na samodzielne zapoznanie się z budową i zasadą działania pozostałych rodzajów mikrofonów. W mikrofonach pojemnościowych (rys. 2c i 2d) fale dźwiękowe są przetwarzane na zmianę pojemności:

$$C = \frac{\varepsilon_o \varepsilon_p S}{d}, \quad (5)$$

gdzie:  $C$  – pojemność kondensatora w  $F$ ;

$\varepsilon_o$  – przenikalność elektryczna próżni -  $8,8541878 \cdot 10^{-12} F/m$ ;

$\varepsilon_p$  – względna przenikalność elektryczna powietrza - 1,00059;

$S$  – pole powierzchni okładek kondensatora w  $m^2$ ;

$d$  – odległość między okładkami w  $m$ .

Fale dźwiękowe działając na membranę wykonaną z bardzo cienkiej i elastycznej folii z napyloną warstwą złota zmieniają odległość  $d$  od drugiej okładki kondensatora, którą jest zwykle drobna siatka metalowa. Zmiana odległości (przy stałych w czasie wartościach  $S$ ,  $\varepsilon_o$ ,  $\varepsilon_p$  i  $U_z$ ) powoduje zmianę pojemności  $C$ . Następnie sygnał zmiany pojemności jest przetwarzany za pomocą odpowiednich układów elektronicznych na wartość ciśnienia akustycznego. Mikrofony tego typu wymagają zasilania.

Wpływ na dokładność pomiaru mają następujące czynniki:

- wilgotność powietrza (względna przenikalność elektryczna wody wynosi ok. 81, a więc zmiana wilgotności powietrza zmienia pojemność kondensatora);
- stałość napięcia zasilania;
- zmiana temperatury (pod wpływem temperatury następuje zmiana wymiarów okładek kondensatora, a więc i zmiana pojemności, co jest zjawiskiem niepożądanym).

Do pomiar hałasu normalizatorzy zdefiniowali trzy klasy dokładności:

- **klasa 1 - zwana laboratoryjną** (najbardziej dokładna). W metodzie tej nie uwzględnia się środowiska badawczego, umieszczając źródło w pomieszczeniu (komory: bezechowa półbezechowa lub pogłosowa) specjalnie zbudowanym do wyznaczania mocy akustycznej i spełniającym bardzo rygorystyczne wymagania. Taka metoda jest kosztowna, a poza tym nie zawsze jest możliwość przemieszczania źródła hałasu do tego środowiska i zapewnienia jego właściwego funkcjonowania;
- **klasa 2 - zwana techniczną** (klasa pośrednia). Dokładność pomiarów jest mniejsza niż dla klasy 1, ale stosowanie metody jest łatwiejsze. Ta klasa jest zalecana, gdy wyznaczanie mocy akustycznej ma na celu deklarację emisji hałasu maszyny przez jej producenta.
- **klasa 3 - zwana orientacyjną** (najmniej dokładna). Dokładność jest mała, ale stopień trudności związany z jej zastosowaniem jest też niewielki. Klasa 3 może mieć zastosowanie

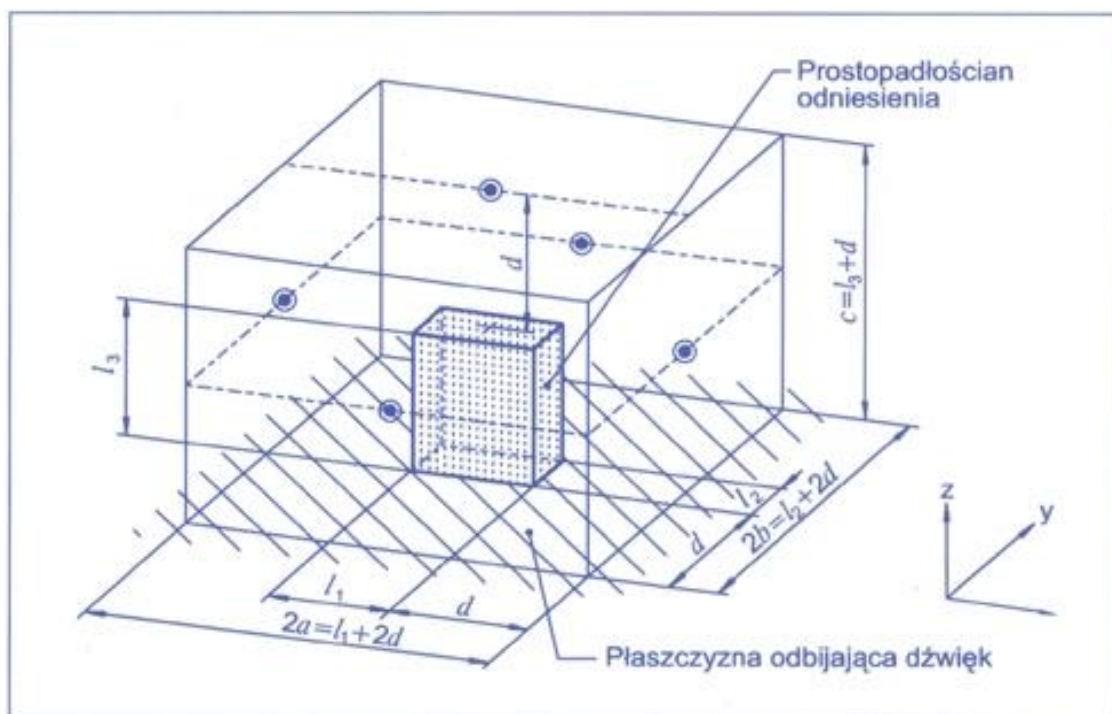
tylko do oceny wstępnej lub wtedy, gdy nie można zastosować żadnej innej metody bardziej precyzyjnej.

Metody wyznaczania poziomów ciśnienia akustycznego emisji, wymagające przeprowadzenia pomiarów ciśnienia akustycznego zawierają:

- metodę techniczną warunków zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk, bez korekcji środowiskowej (PN-EN ISO 11201 [2]);
- metodę orientacyjną w warunkach *in situ* z korekcją środowiskową, określaną w sposób uproszczony (PN-EN ISO 11202 [3]);
- metodę techniczną/orientacyjną wymagającą poprawek środowiskowych, uwzględniających brak spełnienia przez środowiska badawcze warunków idealnego pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk (PN-EN ISO 11204 [4]).

W przeprowadzanym ćwiczeniu używana będzie metoda techniczna, dlatego też zostanie ona opisana szczegółowo.

Pomiary wykonuje się w punktach rozmieszczonych na płaszczyźnie pomiarowej (rys.3).



Rys. 3. Rozmieszczenie punktów pomiarowych na prostokątnej powierzchni pomiarowej [1].

Pozycję i liczbę mikrofonów określają (normy EN ISO 3744 i 3746):

- a) wymiary badanego źródła;
- b) odległość, jaka dzieli powierzchnię otaczającą od badanego źródła (dla powierzchni pomiarowej równoległej zaleca się odległość

1 m, ale można zbliżyć się aż do 0,25 m do powierzchni zewnętrznej źródła, na przykład po to, aby zredukować wpływ hałasu tła);

- c) kształt powierzchni otaczającej (równoległocien lub półkula do wyboru przez użytkownika normy). Generalnie preferowana jest powierzchnia otaczająca równoległocienna, o mniejszym zasięgu, z wyjątkiem przestrzeni pomiarowej dla sprzętu, przeznaczonego do pracy w otwartej przestrzeni (maszyny rolnicze lub stosowane w leśnictwie, maszyny budowlane, itp.). Należy wiedzieć, że wynik nie jest całkowicie niezależny od kształtu powierzchni otaczającej.

Liczba pozycji mikrofonowych wzrasta szybko wraz z wielkością badanego źródła hałasu (tabela 3).

Tabela 3. Liczba wymaganych pozycji mikrofonu według wielkości maszyny dla norm EN ISO 3744 i EN ISO 3746.

Rozmiary $L, l, h$ źródła w m	EN ISO 3744 (Klasa 2)	EN ISO 3746 <sup>1)</sup> (Klasa 3)
$L \leq 1, l \leq 1, h \leq 2$ (małe źródło)	9	5
$L \leq 1, l \leq 1, 2 \leq h \leq 5$ (źródło wysokie i wąskie)	17	9
$4 < L \leq 7, l \leq 1, h \leq 2$ (źródło wydłużone)	19	11
$1 < L \leq 4, l \leq 4, 2 < h \leq 5$ (źródło średniej wielkości)	36	20
$4 < L \leq 7, 1 < l \leq 4, 2 < h \leq 5$ (duże źródło)	46	26
<p><sup>1)</sup> Punkty pomiarowe w normie EN ISO 3746 odpowiadają punktom pomiarowym w normie EN ISO 3744. Jeśli z jakichś powodów stwierdza się, że po zastosowaniu metody wg EN ISO 3744 wymóg klasy 2 nie jest spełniony, można zastosować wyniki pomiarów skorygowane charakterystyką A otrzymane w punktach wspólnych dla obydwu norm i w ten sposób otrzymać wynik klasy 3 zgodny z EN ISO 3746, bez konieczności powtarzania żadnego pomiaru.</p>		

Poziom mocy akustycznej  $L_{WA}$  skorygowany charakterystyką częstotliwościową  $A$  (zwany też skorygowanym poziomem mocy akustycznej  $A$ ) wyznacza się ze wzoru:

$$L_{WA} = \overline{L_{pFA}} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB} \quad (6)$$

gdzie:  $\overline{L_{pFA}} = \overline{L'_{pA}} - K_{1A} - K_{2A}$  (7) jest to równoważny uśredniony na powierzchni pomiarowej tzw. powierzchniowy poziom dźwięku  $A$ ;

$S$  - pole powierzchni pomiarowej w  $m^2$ ;

$S_0 = 1 \text{ m}^2$ ;

$K_{1A}$  - poprawka uwzględniająca hałas tła, charakteryzująca wpływ hałasu tła na poziom dźwięku  $A$  na powierzchni pomiarowej -  $K_{1A} \leq 3 \text{ dB}$ ;

$K_{2A}$  - poprawka środowiskowa uwzględniająca wpływ dźwięków odbitych lub pochłoniętych na poziom dźwięku  $A$  na powierzchni pomiarowej -  $K_{2A} \leq 7 \text{ dB}$ .

Poprawkę  $K_{1A}$  oblicza się ze wzoru:

$$K_{1A} = -10 \lg (1 - 10^{-0,1 \Delta L_A}) \text{ dB}, \quad (8)$$

gdzie:  $\Delta L_A = \overline{L'_{pA}} - \overline{L''_{pA}}$  (9)

$\overline{L'_{pA}}$  - równoważny poziom dźwięku  $A$  uśredniony na powierzchni pomiarowej w czasie pracy badanego źródła;

$\overline{L''_{pA}}$  - równoważny poziom dźwięku  $A$  hałasu tła uśredniony na powierzchni pomiarowej przy wyłączonym źródle dźwięku.

Jeśli  $\Delta L_A > 10 \text{ dB}$   $K_{1A} = 0$ , a jeśli  $10 \text{ dB} \geq \Delta L_A \geq 3 \text{ dB}$  to poprawkę  $K_{1A}$  wyznacza się zgodnie z podanym wzorem (8).

Poprawka  $K_{2A}$  wyznaczana jest wg procedur podanych w załączniku A normy PN-EN ISO 3746:1999, tj. stosując źródło dźwięku odniesienia lub wyliczając ją ze wzoru:

$$K_{2A} = \lg [1 + 4(S/A_1)] \text{ dB}, \quad (9)$$

gdzie:  $A_1$  - chłonność akustyczna pomieszczenia w  $m^2$  (wynika z pomnożenia współczynnika pochłaniania dźwięku materiału przez pole powierzchni);

$S$  - pole powierzchni pomiarowej w  $m^2$ .

W tej metodzie jest brak ograniczeń co do objętości źródła dźwięku (ograniczona jest tylko warunkami środowiska badawczego).



Charakter hałasu jest dowolny (ustalony, nieustalony, impulsowy, o widmie szerokopasmowym, wąskopasmowym, dyskretnym).

Dokładność metody wyznaczania poziomu mocy akustycznej  $L_{WA}$  wyrażona jest przez odchylenie standardowe odtwarzalności  $\sigma_R$ :

- $\sigma_R \leq 3$  dB (jeśli  $K_{2A} < 5$  dB);
- $\sigma_R \leq 4$  dB (jeśli  $5 \leq K_{2A} \leq 7$  dB);
- jeśli dominują tony to wartość  $\sigma_R$  jest większa o 1 dB.

Niepewność pomiaru zależy od odchylenia standardowego odtwarzalności oraz od wymaganego poziomu ufności. Przy rozkładzie normalnym poziomów mocy akustycznej prawdopodobieństwo, że spodziewana wartość poziomu mocy akustycznej źródła mieści się w przedziale  $\pm 1,654\sigma_R$  wartości zmierzonej wynosi 90%, a prawdopodobieństwo, że mieści się w przedziale  $\pm 1,96\sigma_R$  wartości zmierzonej wynosi 95%.

Podane wartości najwyższego dopuszczalnego natężenia (NDN) hałasu są obowiązujące dla ogółu pracowników, jeśli inne szczegółowe przepisy nie określają wartości niższych. Należy zdawać sobie sprawę, że ich przestrzeganie nie zabezpiecza wszystkich pracowników przed szkodliwym wpływem hałasu. Pomiar hałasu w środowisku pracy wykonywane są w celu ustalenia poziomu narażenia ludzi na działanie hałasu na stanowiskach pracy oraz w innych miejscach, w których mogą przebywać ludzie. Uzyskane wyniki pomiarów porównuje się z wartościami określonymi w przepisach i normach w celu określenia ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na hałas.

Pomiary hałasu należy przeprowadzać:

- co najmniej raz do roku, jeżeli wyniki ostatnio przeprowadzonych pomiarów osiągnęły poziom powyżej 0,5 wartości dopuszczalnych [5];
- co najmniej raz na dwa lata, jeżeli wyniki ostatnio przeprowadzonych pomiarów osiągnęły poziom powyżej 0,1, lecz nie przekroczyły 0,5 wartości dopuszczalnych;
- w każdym przypadku wprowadzenia zmiany w warunkach występowania hałasu.

Do pomiaru wielkości charakteryzujących hałas powinny być stosowane dozymetry hałasu lub całkujące mierniki poziomu dźwięku o klasie dokładności 2 lub większej. Wymagania, jakie powinny spełniać wspomnianie przyrządy pomiarowe, są zawarte w normach:

- PN-EN 61252: 2000 – *Elektroakustyka. Wymagania dotyczące indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk*;
- PN-EN 60804: 2002 – *Całkująco-uśredniające mierniki poziomu dźwięku*.

Pomiary wielkości określających hałas na stanowiskach pracy przeprowadza się dwoma metodami: bezpośrednią i pośrednią.

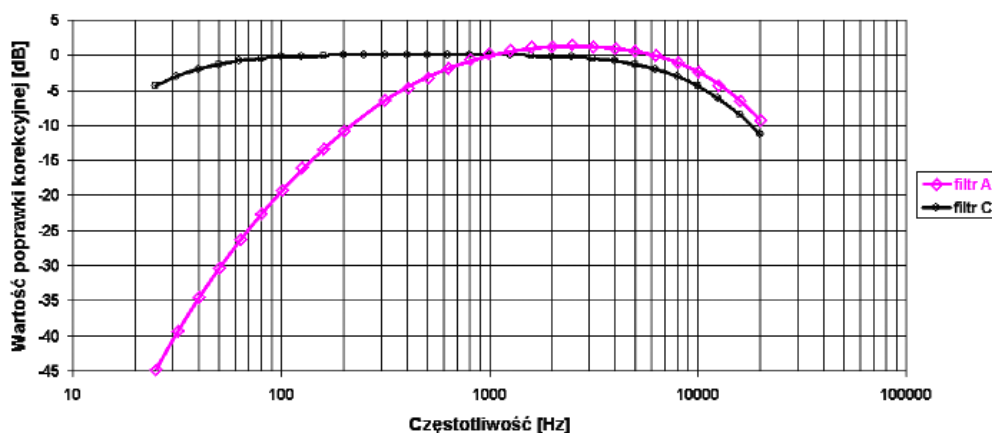
**Metoda bezpośrednia** polega na ciągłym pomiarze ekspozycji pracownika na hałas i odczycie wielkości bezpośrednio z mierników, np. dozymetru hałasu lub całkującego miernika poziomu dźwięku. Jest to łatwa metoda, niewymagająca wykonywania skomplikowanych obliczeń i może być wykorzystywana przez ekipy pomiarowe z niewielkim doświadczeniem bez ryzyka popełnienia znaczących błędów pomiarowych w przypadku hałasu nieustalonego. Wadą metody jest jej czasochłonność (pomiar dla jednego stanowiska pracy trwa całą zmianę roboczą lub dłużej).

**Metoda pośrednia** polega na pomiarze hałasu w czasie krótszym niż czas ekspozycji pracownika oraz zastosowaniu odpowiednich zależności matematycznych do wyznaczenia wielkości opisujących hałas na stanowiskach pracy.

W trakcie wykonywania pomiarów akustycznych należy pamiętać o zastosowaniu odpowiednich filtrów korekcyjnych:

- filtru A podczas pomiarów maksymalnego poziomu dźwięku A i podczas pomiarów pozwalających na określenie poziomu ekspozycji na hałas;
- filtru C podczas pomiarów szczytowego poziomu dźwięku C;
- filtru G podczas pomiaru hałasów infradźwiękowych.

Charakterystyki filtrów korekcyjnych A i C pokazane zostały na rysunku 4.



Rys. 4. Charakterystyki filtrów korekcyjnych A i C.

Kształt krzywej A odpowiada w przybliżeniu odwróconej „charakterystyce” ucha ludzkiego dla dźwięków o małych poziomach ciśnienia akustycznego – najlepiej człowiek odbiera dźwięki o częstotliwościach 2000–4000 Hz, znacznie gorzej dźwięki o częstotliwościach kilkudziesięciu lub kilkuset herców. Dla dźwięków o bardzo wysokich poziomach różnice te zaczynają się zacierać – obrazuje to kształt krzywej korekcyjnej C odpowiadający w przybliżeniu odwróconej

„charakterystyce” ucha ludzkiego dla dźwięków o dużych poziomach ciśnienia akustycznego. Często w ramach pomiarów hałasu w środowisku pracy wykonuje się również pomiary poziomu ciśnienia akustycznego lub poziomu dźwięku A w odpowiednich pasmach częstotliwości (oktawowych lub rzadziej tercjowych). Wyniki tych pomiarów są przydatne np. do doboru ochronników słuchu, wyboru metody ograniczania hałasu, przewidywania skuteczności proponowanych rozwiązań przeciwhałasowych itp.

Do wykonywania pomiarów używać będziemy całkujący miernik poziomu dźwięku SON-50 (rys.5. SON-50 umożliwia pomiar wielu wielkości akustycznych jednocześnie. Miernik mierzy też czas pomiaru, oraz kontroluje stan naładowania baterii. Możliwy jest pomiar wartości skutecznej, przy użyciu jednej z trzech charakterystyk korekcyjnych wbudowanych w przyrządzie: A, C, LIN lub dołączonego filtra zewnętrznego.



Rys. 5. Całkujący miernik poziomu dźwięku SON-50 - widok ogólny [7].

Przedstawię tylko niektóre oznaczenia wielkości mierzone za pomocą miernika SON-50 [7].

**UWAGA:** X – oznacza stałą czasową: S – SLOW lub F - FAST

**Wartość równoważna poziomu dźwięku:**

- ✓ LAeq - charakterystyka "A";
- ✓ LCEq - charakterystyka "C";
- ✓ LLeq - charakterystyka "LIN";
- ✓ Lfeq - filtry zewnętrzne;
- ✓ LGeq - zewnętrzny filtr "G".

**Chwilowa wartość skuteczna (SPL):**

- ✓ LAX - charakterystyka "A";
- ✓ LCX - charakterystyka "C";
- ✓ LLX - charakterystyka "LIN";
- ✓ LfX - zewnętrzne filtry oktawowe;
- ✓ LGX - zewnętrzny filtr "G".

**Maksymalna i minimalna wartość skuteczna od początku pomiaru:**

- ✓ LAXmx LAXmn - charakterystyka "A";
- ✓ LCXmx LCXmn - charakterystyka "C";
- ✓ LLXmx LLXmn - charakterystyka "LIN";



- ✓ LfXmx LfXmn - oktawowe filtry zewnętrzne;
- ✓ LGXmx LGXmn - zewnętrzny filtr "G".

**Maksymalna wartość szczytowa od początku pomiaru:**

- ✓ LCMPk - char. "C" detektora wartości szczytowej;
- ✓ LLMPk - charakterystyka "LIN";
- ✓ LfMPk - oktawowe filtry zewnętrzne - wartość szczytowa;
- ✓ LGMPk - zewnętrzny filtr "G" - wartość szczytowa.

**Maksymalna wartość szczytowa za okres 1 sekundy:**

- ✓ LCPk - char. "C" detektora wartości szczytowej;
- ✓ LLPk - charakterystyka "LIN";
- ✓ LfPk - oktawowe filtry zewnętrzne - wartość szczytowa;
- ✓ LGPk - zewnętrzny filtr "G" - wartość szczytowa.

**Poziomy ekspozycyjne:**

- ✓ LAE - (SEL) ekspozycyjny poziom dźwięku;
- ✓ LEX,T - poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8 godzinnego dnia pracy, jeśli czas ekspozycji T jest równy od 8 godzin, można go ustawić przed lub po pomiarze. Jeżeli jako charakterystykę korekcyjną wybrano „A” lub „C”, to w torze pomiarowym wartości szczytowej pomiar dokonywany jest z korekcją „C” - (LCPk, LCMPk). Jeśli wybrano charakterystykę korekcyjną „LIN” to wartości szczytowe mierzone są z korekcją LIN.

## 2. PRZEBIEG POMIARÓW

### 2.1. Wyznaczanie poziomu mocy akustycznej urządzenia:

- a) po wskazaniu przez prowadzącego zajęcia obiektu badań wyznaczają zgodnie z tab.3 – liczbę punktów pomiarowych oraz planują ich położenie w przestrzeni wokół obiektu (rys.3);
- b) po ustawieniu odpowiednich parametrów pomiarowych przyrządu SON-50 ćwiczący przeprowadzają pomiary poziomu hałasu tła  $L_{pA}''$  (przy wyłączonej maszynie). Wyniki pomiarów wpisują do odpowiednio przygotowanej tabeli;
- c) następnie przeprowadzają pomiary poziomu dźwięku A  $L_{pA}'$  (przy włączonej maszynie). Wyniki pomiarów wpisują do odpowiednio przygotowanej tabeli 4;
- d) na podstawie wzorów 8 i 9 wyznaczają wartości  $K_{1A}$  i  $K_{2A}$ ;
- e) za pomocą wzoru 7 wyliczają powierzchniowy poziom dźwięku  $\overline{L_{pFA}}$  oraz poziom mocy akustycznej  $L_{WA}$  (wzór 6);

- f) w miejscach wskazanych przez prowadzącego ćwiczenie przeprowadzić pomiary ciśnienia akustycznego z użyciem filtra oktawowego. Wyniki pomiarów zapisywać w pamięci miernika SON-50 i po zakończeniu pomiarów zgrać do komputera za pomocą programu SON-50 MONITOR.

Tabela 4. Wyniki pomiarów

Wymiary urządzenia	l=..... m; b=.....m; h=.....m	
Liczba punktów pomiarowych	N=.....	
Wymiary pomieszczenia	L=.....m; B=.....m; H=.....m	
Odległość mikrofonu od urządzenia	x= ..... m	
Pole powierzchni pomiarowej	S=.....m <sup>2</sup>	
Chłonność akustyczna pomieszczenia	A <sub>1</sub> = .....m <sup>2</sup>	
Nr punktu pomiarowego	poziomu hałasu tła $L''_{pA}$	poziomu hałasu urządzenia $L'_{pA}$
	dB	dB
1		
2		
3		
4		
5		
....		
Wartość średnia		
Deklarowany przez producenta poziom mocy akustycznej		$L_W = \dots\dots\dots$ dB
Obliczony poziom mocy akustycznej		$L_{WA} = \dots\dots\dots$ dB

### 2.2. Wyznaczanie współczynnika tłumienia:

- przykryć urządzenie emitujące dźwięk osłoną wykonaną z drewna sosnowego;
- włączyć urządzenie i wykonać pomiary poziomu dźwięku  $A$   $L'_{pA}$  oraz pomiary z wykorzystaniem filtra oktawowego;
- wyniki pomiarów zanotować w tabeli 5;
- zamienić rodzaj osłony i powtórzyć pomiary z punktu b);
- powtórzyć pomiary z punktu b) dla jednoczesnego użycia dwóch rodzajów osłon.

Tabela 5. Zestawienie wyników pomiarów poziomu mocy akustycznej

		Materiał			Materiał		
		sosna	plyta	sosna+plyta	sosna	plyta	sosna+plyta
wielkość		poziom mocy akustycznej			współczynnik pochłaniania		
jednostki		dB			dźwięku		
$L_{pA}$							
Filtr oktawowy f [Hz]	125						
	250						
	500						
	1000						
	2000						
	4000						

**Sprawozdanie powinno zawierać:**

- wypełnione tabele pomiarowe podpisane przez prowadzącego;
- ocenę poziomu hałasu emitowanego przez badane urządzenie i porównanie wyników pomiaru z danymi producenta;
- wykonaną za pomocą programu SON-50 MONITOR ilustrację graficzną pomiarów ciśnienia akustycznego za pomocą filtra oktawowego przy wykorzystaniu osłon z różnych materiałów;
- analizę uzyskanych wyników pomiarów i obliczeń;
- wnioski.

## 5. PYTANIA I ZADANIA KONTROLNE

1. Wymień i opisz podstawowe parametry charakteryzujące źródło dźwięku.
2. Omów metody pomiaru hałasu.
3. Wymień czujniki służące do pomiaru hałasu i opisz budowę i zasadę działania jednego z nich.
4. Opisz budowę i zastosowanie filtra oktawowego.
5. Wymień i omów rodzaje charakterystyk filtrów korekcyjnych.
6. Porównaj właściwości akustyczne wybranych trzech materiałów stosowanych w meblarstwie.
7. Opisz zjawiska zachodzące podczas propagacji dźwięku w drewnie.
8. Zdefiniuj współczynniki pochłaniania oraz transmisji dźwięku.

## LITERATURA

1. Augustyńska D., Pleban D., Mikulski W.: „Bezpieczeństwo pracy nauka i praktyka” 2/2000, str. 7-13, Centralny Instytut Ochrony Pracy.
2. PN-EN ISO 11201:1999 Akustyka – Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia – Pomiar

Laboratorium „Fizyka drewna”

**Ćw. Nr3 „Akustyczne właściwości drewna”**

*poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach metodą techniczną w warunkach zbliżonych do pola swobodnego nad płaszczyzną odbijającą dźwięk (EN-ISO 11201:1995).*

3. PN-EN ISO 11202:1999 *Akustyka – Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia – Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy i w innych określonych miejscach metodą orientacyjną w warunkach in situ (EN-ISO 11202: 1995).*
4. PN-EN ISO 11204:1999S *Akustyka – Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia – Pomiar poziomów ciśnienia akustycznego emisji na stanowiskach pracy i w innych określonych miejscach metodą wymagającą poprawek środowiskowych (EN-ISO11204+AC: 1995).*
5. *Hałas*. Warszawa, CIOP 2002. Seria: Bezpieczeństwo i Ochrona Człowieka w Środowisku Pracy, t. 8.
6. PN-N-01332:1984 *Hałas - Orientacyjna metoda określania poziomu mocy akustycznej maszyn.*
7. Całkujący miernik poziomu dźwięku SON-50, Instrukcja obsługi. P.P.U.H. "SONOPAN" sp. z o.o., 15-950 Białystok, ul. Ciołkowskiego 2/2 <http://www.sonopan.com.pl>

## **WYMAGANIA BHP**

Warunkiem przystąpienia do praktycznej realizacji ćwiczenia jest zapoznanie się z instrukcją BHP i instrukcją przeciwpożarową oraz przestrzeganie zasad w nich zawartych. Wybrane urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym mogą posiadać instrukcje stanowiskowe. Przed rozpoczęciem pracy należy zapoznać się z instrukcjami stanowiskowymi wskazanymi przez prowadzącego.

W trakcie zajęć laboratoryjnych należy przestrzegać następujących zasad.

- ♦ Sprawdzić, czy urządzenia dostępne na stanowisku laboratoryjnym są w stanie kompletnym, nie wskazującym na fizyczne uszkodzenie.
- ♦ Sprawdzić prawidłowość połączeń urządzeń.
- ♦ Załączenie napięcia do układu pomiarowego może się odbywać po wyrażeniu zgody przez prowadzącego.
- ♦ Przyrządy pomiarowe należy ustawić w sposób zapewniający stałą obserwację, bez konieczności nachylania się nad innymi elementami układu znajdującymi się pod napięciem.
- ♦ Zabronione jest dokonywanie jakichkolwiek przełączeń oraz wymiana elementów składowych stanowiska pod napięciem.
- ♦ Zmiana konfiguracji stanowiska i połączeń w badanym układzie może się odbywać wyłącznie w porozumieniu z prowadzącym zajęcia.
- ♦ W przypadku zaniku napięcia zasilającego należy niezwłocznie wyłączyć wszystkie urządzenia.
- ♦ Stwierdzone wszelkie braki w wyposażeniu stanowiska oraz nieprawidłowości w funkcjonowaniu sprzętu należy przekazywać prowadzącemu zajęcia.
- ♦ Zabrania się samodzielnego włączania, manipulowania i korzystania z urządzeń nie należących do danego ćwiczenia.
- ♦ W przypadku wystąpienia porażenia prądem elektrycznym należy niezwłocznie wyłączyć zasilanie stanowisk laboratoryjnych za pomocą wyłącznika bezpieczeństwa, dostępnego na każdej tablicy rozdzielczej w laboratorium. Przed odłączeniem napięcia nie dotykać porażonego.