

LABORATORIUM

Pomiar poziomu mocy akustycznej w komorze pogłosowej

Instrukcja do zajęć laboratoryjnych

Kraków 2010

Spis treści

1. Wstęp.....	3
2. Wprowadzenie teoretyczne.....	4
2.1. Definicje terminów.....	4
2.2. Wymagania pomiarowe.....	4
2.2.1. Objętość i zakres częstotliwości.....	4
2.2.2. Chłonność akustyczna pomieszczenia badawczego.....	5
2.2.3. Poziom ciśnienia akustycznego tła.....	5
2.2.4. Temperatura, wilgotność i ciśnienie.....	5
2.2.5. Pozycje mikrofonu.....	6
2.2.6. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego.....	6
3. Wzory i obliczenia.....	7
3.1. Minimalna odległość d_{min}	7
3.2. Poprawka uwzględniająca hałas tła.....	7
3.3. Wyznaczanie odchylenia standardowego.....	8
3.4. Ocena konieczności wprowadzenia dodatkowych pozycji mikrofonu.....	8
3.5. Ocena konieczności wprowadzenia dodatkowych położzeń źródła.....	9
3.6. Wyznaczanie średniego poziomu ciśnienia akustycznego.....	10
3.7. Wyznaczanie poziomu mocy akustycznej źródła hałasu.....	10
3.7.1. Metoda z wykorzystaniem równoważnej powierzchni pochłaniającej pomieszczenia (metoda bezpośrednia).....	10
4. Przebieg ćwiczenia.....	12
5. Sprawozdanie.....	13
5.1. Wstęp teoretyczny.....	13
5.2. Część obliczeniowa.....	13
6. Bibliografia.....	14
7. Załącznik 1.....	15
8. Załącznik 2.....	16

1. Wstęp

Celem laboratorium jest zaznajomienie uczestników zajęć z pomiarem poziomu mocy akustycznej na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego, metodą dokładną w komorze pogłosowej. Metodyka wykonywania pomiarów jest identyczna z wymaganiami normy PN-EN ISO 3741:2003 – *Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metody dokładne w komorach pogłosowych* i na jej podstawie wykonano tę instrukcję.

Norma ISO 3741 jest jedną z serii norm ISO 3740 określających różne metody wyznaczania poziomów mocy akustycznej maszyn. Określa ona laboratoryjne metody wyznaczania poziomów mocy akustycznej, promieniowanej przez źródła hałasu, w funkcji częstotliwości, w komorach pogłosowych o ściśle określonych charakterystykach akustycznych. Obliczanie poziomów mocy akustycznej na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego oparto na założeniu, że dla źródła emitującego daną moc akustyczną w komorze pogłosowej, średniokwadratowa wartość ciśnienia akustycznego uśrednionego w przestrzeni i w czasie jest wprost proporcjonalna do mocy akustycznej i poza tym zależy od właściwości akustycznych i geometrycznych pomieszczenia oraz stałych fizycznych ośrodka powietrznego.

2. Wprowadzenie teoretyczne

2.1. Definicje terminów

Komora pogłosowa – pomieszczenie badawcze spełniające wymagania zawarte w PN-EN ISO 3741.

Akustyczne pole rozproszone – część pola akustycznego w pomieszczeniu pomiarowym, w której wpływ dźwięku docierającego bezpośrednio od źródła jest pomijalnie mały.

Ciśnienie akustyczne p – ciśnienie zmienne w stosunku do ciśnienia statycznego, spowodowane obecnością dźwięku.

Wartość średniokwadratowa ciśnienia akustycznego $\overline{p^2}$ – wartość ciśnienia akustycznego uśrednionego w czasie i przestrzeni z zastosowaniem zasady średniej kwadratowej.

Poziom ciśnienia akustycznego L_p – dziesięć logarytmów przy podstawie 10 z ilorazu kwadratu ciśnienia akustycznego i kwadratu ciśnienia akustycznego odniesienia ($p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{Pa}$).

Czas pomiaru – część, lub wielokrotność, okresu pracy lub cyklu pracy, w którym jest wyznaczany uśredniony w czasie poziom ciśnienia akustycznego.

Moc akustyczna W – ilość energii akustycznej wypromieniowanej przez źródło w jednostce czasu (wyrażona w watach).

Poziom mocy akustycznej L_W – dziesięć logarytmów przy podstawie 10 z ilorazu mocy akustycznej promieniowanej przez badane źródło hałasu. Poziom mocy wyraża się w decybelach, a moc akustyczna odniesienia wynosi $L_{W0} = 1 \text{ pW} = 1 \cdot 10^{-12} \text{ W}$.

Hałas tła – hałas pochodzący od wszystkich innych źródeł niż źródło badane.

Czas pogłosu T_{rev} – czas wymagany do obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego o 60dB w przypadku natychmiastowego wyłączenia źródła dźwięku.

2.2. Wymagania pomiarowe

2.2.1. Objętość i zakres częstotliwości

Komora pogłosowa w Laboratorium Akustyki Technicznej Katedry Mechaniki

i Wibroakustyki ma objętość 180,4 m³.

Norma PN-EN ISO 3741 narzuca następujące dolne częstotliwości pasma 1/3-oktawowego:

Najniższa częstotliwość pasma 1/3-oktawowego [Hz]	Minimalna objętość pomieszczenia pomiarowego [m ³]
100	200
125	150
160	100
200 i więcej	70

Górna granica zakresu pomiarowego podczas naszych badań wynosi 10000 Hz

2.2.2. Chłonność akustyczna pomieszczenia badawczego

Chłonność akustyczna pomieszczenia badawczego ma wpływ na minimalną odległość, którą należy zachować między źródłem dźwięku a pozycją mikrofonu.

Powierzchnie pomieszczenia pomiarowego znajdujące się najbliżej źródła hałasu powinny być powierzchniami o współczynniku pochłaniania dźwięku mniejszym niż 0,06. Właściwości dźwiękochłonne pozostałych powierzchni pomieszczenia powinny być takie, aby czas pogłosu T_{rev} w każdym paśmie 1/3-oktawowym, bez źródła hałasu w pomieszczeniu był liczbowo większy od stosunku V do S , gdzie T_{rev} - czas pogłosu wyrażony w sekundach, V – objętość komory pogłosowej, wyrażona w metrach sześciennych, S – całkowita powierzchnia ścian pomieszczenia badawczego, wyrażona w metrach kwadratowych.

Komora pogłosowa LAT w KMiW ma powierzchnię równą 193,6 m².

2.2.3. Poziom ciśnienia akustycznego tła

Poziom ciśnienia akustycznego hałasu tła we wszystkich pasmach częstotliwości w badanym zakresie, uśredniony z wartości zmierzonych we wszystkich pozycjach mikrofonu powinien być co najmniej o 10 dB niższy od poziomu ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez badane źródło.

2.2.4. Temperatura, wilgotność i ciśnienie

Wahania temperatury i wilgotności względnej nie powinny przekraczać granic podanych podanych w tabeli poniżej.

Zakres temperatury θ [°C]	Zakres wilgotności względnej [%]		
	< 30 %	Od 30 % do 50 %	> 50 %
	Dopuszczalne wartości graniczne temperatury i wilgotności względnej		
$-5 \leq \theta < 10$	$\pm 1 \text{ °C}$ $\pm 3 \text{ %}$	$\pm 1 \text{ °C}$ $\pm 5 \text{ %}$	$\pm 3 \text{ °C}$ $\pm 10 \text{ %}$
$10 \leq \theta < 20$		$\pm 3 \text{ °C}$ $\pm 5 \text{ %}$	
$20 \leq \theta < 50$	$\pm 2 \text{ °C}$ $\pm 3 \text{ %}$	$\pm 5 \text{ °C}$ $\pm 5 \text{ %}$	$\pm 5 \text{ °C}$ $\pm 10 \text{ %}$

Pomiary ciśnienia atmosferycznego powinny być wykonane z dokładnością $\pm 1,5 \text{ kPa}$.

2.2.5. Pozycje mikrofonu

W przypadku nie przeprowadzonej kwalifikacji pomieszczenia badawczego, należy wybrać sześć pozycji mikrofonu w celu określenia odchylenia standardowego. W każdym przypadku mikrofon powinien być umieszczony w odległości większej niż 1 m od ścian komory pogłosowej, oraz w odległości większej niż d_{min} od źródła. Minimalna odległość między poszczególnymi pozycjami mikrofonu powinna wynosić połowę długości fali akustycznej o częstotliwości środkowej najniższego pasma z badanego zakresu.

2.2.6. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego

Dla źródeł emitujących hałas ustalony czas powinien wynosić co najmniej 30 s w przypadku pasm o częstotliwościach środkowych mniejszych lub równych 160 Hz. W przypadku pasm o częstotliwościach środkowych równych lub większych niż 300 Hz, czas pomiaru powinien wynosić co najmniej 10 s.

Pomiary poziomu hałasu tła w pomieszczeniu ze źródłem wyłączonym należy wykonać dla każdej pozycji mikrofonu. Całkowity czas uśredniania powinien być porównywalny z czasem uśredniania stosowanym podczas badania maszyny. Pomiar ten powinien być wykonany bezpośrednio przed badaniami lub natychmiast po nich.

3. Wzory i obliczenia

3.1. Minimalna odległość d_{min}

Minimalna odległość między źródłem hałasu, a najbliższą pozycją mikrofonu, w każdym paśmie z zakresu częstotliwości pomiarowych, nie powinna być mniejsza niż:

$$d_{min} = C_1 \sqrt{V/T_{rev}}$$

gdzie:

d_{min} – minimalna odległość między źródłem a mikrofonem, w m,

$C_1 = 0,08$

V – objętość komory pogłosowej, w m^3 ,

T_{rev} – czas pogłosu, w s.

3.2. Poprawka uwzględniająca hałas tła

$$K_1 = 10 \lg(1 - 10^{-0,1 \Delta L})$$

K_1 – poprawka uwzględniająca hałas tła, w dB,

$$\Delta L = \bar{L}'_p - \bar{L}''_p$$

\bar{L}'_p – poziom wartości średniokwadratowej ciśnienia akustycznego w danym paśmie częstotliwości, uśredniony dla wszystkich pozycji mikrofonu, podczas pracy badanego źródła, w dB,

\bar{L}''_p – poziom wartości średniokwadratowej ciśnienia akustycznego hałasu tła w danym paśmie częstotliwości, mierzony bezpośrednio po pomiarach badanego źródła dźwięku, uśredniony dla wszystkich pozycji mikrofonu, w dB.

Jeśli $10 \text{ dB} \leq \Delta L \leq 15 \text{ dB}$, poprawki należy obliczać zgodnie z powyższym równaniem. Jeśli $\Delta L > 15 \text{ dB}$ poprawek nie uwzględnia się.

Dla urządzeń o niskich poziomach hałasu, w kilku pasmach częstotliwości z badanego zakresu może wystąpić przypadek, że $\Delta L < 10 \text{ dB}$. W takim przypadku maksymalna poprawka stosowana w tych pasmach powinna wynosić 0,5 dB. Jeżeli takie warunki wystąpią podczas pomiarów, powinny zostać szczegółowo opisane w tekście sprawozdania jak i w tablicach wyników i na wykresach, jako wyniki reprezentujące górną granicę dla poziomu mocy akustycznej źródła.

3.3. Wyznaczanie odchylenia standardowego

Na podstawie zmierzonych poziomów ciśnienia akustycznego, wartość odchylenia standardowego w każdym paśmie częstotliwości powinna być wyznaczona z poniższego wzoru:

$$s_M = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_M} \frac{(L_{pi} - L_{pm})^2}{N_M - 1}}$$

gdzie:

s_M – odchylenie standardowe poziomu ciśnienia akustycznego z sześciu pozycji mikrofonu, w dB,

L_{pi} – uśredniony w czasie poziom ciśnienia akustycznego w i -tej pozycji mikrofonu, w dB,

L_{pm} – średnia arytmetyczna wartość poziomów ciśnienia akustycznego, zmierzonych w sześciu pozycjach mikrofonu, w dB,

$$N_M = 6$$

3.4. Ocena konieczności wprowadzenia dodatkowych pozycji mikrofonu

Liczba pozycji mikrofonu N_M , wymaganych do wyznaczenia średniej wartości poziomu ciśnienia akustycznego, powinna być określona na podstawie danych z poniższej tabeli oraz obliczeń ze wzoru na odchylenie standardowe.

Częstotliwość [Hz]	Minimalna wartość N_M		
	Odchylenie standardowe [dB]		
Pasmo oktauwowe 1/3-oktauwowe	$s_M \leq 1,5$	$1,5 < s_M \leq 3$	$s_M > 3$
100, 125, 160	6	6	6
200, 250, 315		6	12
400, 500, 630		12	24
≥ 800		12	30

3.5. Ocena konieczności wprowadzenia dodatkowych położeń źródła

Jeżeli odchylenie standardowe poziomu ciśnienia akustycznego określonego według wspomnianego wcześniej wzoru przekracza wartość 1,5 dB, widmo badanego źródła hałasu zawiera znaczące składowe dyskretne. W tej sytuacji norma nakazuje wprowadzić zmiany w pomieszczeniu pomiarowym i stanowisku badawczym, aby spełniały kryteria dotyczące pomiaru źródeł hałasu takiego typu.

Norma dopuszcza także drugą metodę (która w sprawozdaniu powinna zostać wykorzystana w celu wykazania ewentualnej konieczności większej ilości pozycji mikrofonu) – wyznaczenie liczby położeń źródła N_S na podstawie poniższego wzoru i tablicy:

$$N_S \geq K_S \left[\left(\frac{T_{rev}}{V} \right) \left(\frac{1000}{f} \right)^2 + \frac{1}{N_M} \right]$$

gdzie:

N_S – wymagana liczba położeń źródła podczas pomiarów,

K_S – wartość otrzymana według poniższej tablicy,

T_{rev} – czas pogłosu komory pogłosowej, w s,

V – objętość komory pogłosowej, w m³,

f – częstotliwość środkowego pasma pomiarowego, w Hz,

N_M – liczba pozycji mikrofonu podczas pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego, określona według tabeli powyżej.

Częstotliwość [Hz]	K_S		
	Odchylenie standardowe [dB]		
Pasma oktauwowe 1/3- oktauwowe	$s_M \leq 1,5$	$1,5 < s_M \leq 3$	$s_M > 3$
100, 125, 160	-	2,5	5
200, 250, 315		5	10
400, 500, 630		10	20
≥ 800		12,5	25

3.6. Wyznaczanie średniego poziomu ciśnienia akustycznego

Dla każdego położenia źródła zmierzyć w każdym paśmie częstotliwości poziomy ciśnienia akustycznego we wszystkich pozycjach mikrofonu. Dla każdego położenia źródła wyznaczyć średnie poziomy ciśnienia akustycznego w pasmach częstotliwości, uśredniając je najpierw ze wszystkich pozycji mikrofonu, a następnie wprowadzając poprawkę K_1 uwzględniającą hałas tła, stosując wzór:

$$(\bar{L}_p)_j = 10 \lg \left[\frac{1}{N_M} \sum_{i=1}^{N_M} 10^{0,1 L_{pi}} \right] - K_1$$

$(\bar{L}_p)_i$ – poziom ciśnienia akustycznego w danym paśmie częstotliwości, dla j -tego położenia źródła, uśredniony ze wszystkich pozycji mikrofonów, w dB,

L_{pi} – uśredniony w czasie poziom ciśnienia akustycznego w danym paśmie częstotliwości, zmierzony w i -tej pozycji mikrofonu dla j -tego położenia źródła, w dB,

K_1 – poprawka uwzględniająca hałas tła w danym paśmie częstotliwości, w dB,

N_M – liczba stałych pozycji mikrofonu dla każdego położenia źródła.

Wynik powinien być następnie uśredniony dla różnych położen źródła według wzoru:

$$\bar{L}_p = 10 \lg \left[\frac{1}{N_S} \sum_{i=1}^{N_S} 10^{0,1 (\bar{L}_p)_j} \right]$$

gdzie:

\bar{L}_p – poziom ciśnienia akustycznego w danym paśmie częstotliwości, uśredniony ze wszystkich położen mikrofonu, w dB,

N_S – liczba położen źródła.

3.7. Wyznaczanie poziomu mocy akustycznej źródła hałasu

Poziom mocy akustycznej źródła hałasu w odpowiednim paśmie częstotliwości powinien być wyznaczony jedną z dwóch metod dopuszczonych przez normę PN-EN ISO 3741.

Podczas laboratorium obliczenia będą wykonywane pierwszą z nich:

3.7.1. Metoda z wykorzystaniem równoważnej powierzchni pochłaniającej pomieszczenia (metoda bezpośrednia)

Poziom mocy akustycznej badanego źródła hałasu wyznacza się z poniższego wzoru,

którym zastosowano średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu, określony zgodnie z powyższymi wzorami i równoważną powierzchnią pochłaniającą komory pogłosowej, wyznaczoną po zainstalowaniu źródła.

$$L_w = \bar{L}_p + \left\{ 10 \lg \frac{A}{A_0} + 4,34 \frac{A}{S} + 10 \lg \left(1 + \frac{S \cdot c}{8 \cdot V \cdot f} \right) - 25 \lg \left[\frac{427}{400} \sqrt{\frac{273}{273 + \theta}} \cdot \frac{B}{B_0} \right] - 6 \right\}$$

gdzie:

L_w – poziom mocy akustycznej badanego źródła hałasu, w dB,

\bar{L}_p – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu, w dB,

A – równoważna powierzchnia pochłaniająca pomieszczenia, w m^2 ,

$A_0 = 1 m^2$,

S – całkowita powierzchnia komory pogłosowej, w m^2 ,

V – objętość komory pogłosowej, w m^3 ,

f – częstotliwość środkowa pasma pomiarowego, w Hz,

c – prędkość dźwięku w temperaturze θ , w m/s,

$$c = 20,05 \sqrt{273 + \theta}$$

θ – temperatura, w st. C,

B – ciśnienie atmosferyczne, w Pa,

$B_0 = 1,013 \cdot 10^5 Pa$.

Równoważna powierzchnia pochłaniająca pomieszczenia, A , powinna być obliczona dla każdego pasma częstotliwości ze wzoru Sabine'a na czas pogłosu:

$$A = \frac{55,26}{c} \left(\frac{V}{T_{rev}} \right)$$

gdzie:

A – równoważna powierzchnia pochłaniająca pomieszczenia, w m^2 ,

T_{rev} – czas pogłosu dla danego pasma częstotliwości, w s,

V – objętość pomieszczenia pomiarowego, w m^3 .

4. Przebieg ćwiczenia

Uczestnik zajęć zapoznaje się z torem pomiarowym przygotowanym do pomiarów.

Przedstawione zostają podstawy obsługi miernika typu SVAN 912E wystarczające do samodzielnego wykonania pomiarów oraz zapisania wyników.

Uczestnicy zajęć ustalają warunki pomiarów:

- minimalna odległość pomiarowa na podstawie przykładowych czasów pogłosu zawartych w Załączniku 2,
- dolny zakres pomiarowy,
- czas pomiaru,
- umiejscowienie badanego źródła.

Uczestnicy zajęć przeprowadzają procedurę kalibracji toru pomiarowego.

Następnie wykonuje się pomiar ciśnienia akustycznego w sześciu punktach pomiarowych z zachowaniem założonych warunków pomiarowych.

Pomiar z każdego punktu jest zapisywany do dowolnego pliku w pamięci analizatora, którego nazwa jest zapisywana w karcie (której wzór jest przedstawiony w Załączniku 1). Do tej karty wpisuje się także poziom ciśnienia akustycznego dla jednego pasma (podanego przez prowadzącego) z każdego pomiaru.

Uczestnicy odczytują i zapisują warunki atmosferyczne podczas wykonywania pomiarów.

Wykorzystując zapisane wartości poziomu ciśnienia akustycznego przelicza się, dla danego pasma, odchylenie standardowe w celu przedstawienia algorytmu obliczania tego parametru. Na podstawie odchylenia standardowego, zgodnie ze wzorami podanymi powyżej ocenia się konieczność wprowadzenia dodatkowych pozycji mikrofonu (dla tego pasma).

Prowadzący podpisuje kartę pomiarową, którą należy następnie dołączyć do sprawozdania.

5. Sprawozdanie

Sprawozdanie powinno zawierać informacje ogólne i część obliczeniową.

5.1. Informacje ogólne

W części powinny być zawarte następujące elementy:

- opis badanego źródła,
- warunki pracy,
- warunki posadowienia,
- szkic położenia źródła dźwięku i pozycji mikrofonów w komorze pogłosowej,
- schemat toru pomiarowego.

5.2. Część obliczeniowa

W części powinny być zawarte następujące elementy:

- karta pomiarowa uzupełniona podczas zajęć i podpisana przez prowadzącego,
- dobór dolnej częstotliwości granicznej,
- wymagany zakres dopuszczalnych wahań warunków atmosferycznych,
- odchylenie standardowe dla wszystkich pasm częstotliwości z zakresu pomiarowego,
- ocena konieczności wprowadzenia dodatkowych pozycji mikrofonu,
- ocena konieczności wprowadzenia dodatkowych położenia źródła,
- wyznaczenie średniego poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu badawczym w mierzonym zakresie pomiarowym,
- wyznaczenie poziomu mocy akustycznej źródła hałasu w mierzonym zakresie pomiarowym,
- wnioski.

6. Bibliografia

1. PN-EN ISO 3741:2003 – *Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu na podstawie pomiarów ciśnienia akustycznego – Metody dokładne w komorach pogłosowych.*
2. PN-EN ISO 354:2005 – *Akustyka – Pomiar pochłaniania dźwięku w komorze pogłosowej.*
3. PN-EN ISO 3740:2003 – *Akustyka – Wyznaczanie poziomów mocy akustycznej źródeł hałasu -- Wytyczne stosowania norm podstawowych.*

7. Załącznik 1

Temperatura: st C

Wilgotność względna: %

Ciśnienie atmosferyczne: Pa

Nr pomiaru:	Nazwa pliku:		Poziom ciśnienia akustycznego L_p [dB] dla pasmaHz
	Maszyna:	Tło:	
1			
2			
3			
4			
5			
6			

$s_M = \dots\dots\dots$ dB

8. Załącznik 2

Przykładowy czas pogłosu w funkcji częstotliwości dla pustej komory pogłosowej:

Częstotliwość [Hz]	Czas pogłosu: [s]
100	13,05
125	10,79
160	9,44
200	10,17
250	11,12
315	10,59
400	9,8
500	8,58
630	8,66
800	7,82
1000	7,03
1250	6,31
1600	5,16
2000	4,62
2500	4,1
3150	3,66
4000	3,17
5000	2,53