

# Laboratorium

## Wibroakustyczne Diagnozowanie Maszyn i Urządzeń

Instrukcja do ćwiczenia nr 5

**KOMORA POGŁOSOWA  
METODYKA POMIARU MOCY AKUSTYCZNEJ**

Opracowanie: P. Osiński, K. Leszczyński

## Wymagania jakie musi spełniać komora pogłosowa

W komorze pogłosowej (rys. 1) występuje pole doskonale rozproszone charakteryzujące się tym, że cała energia akustyczna odbita od ścian wraca w kierunku źródła tak iż natężenie dźwięku w każdym punkcie tego pola jest jednakowe. Właściwość taką osiąga się wykładając ściany sufit i podłogę twardymi i gładkimi elementami, które doskonale odbijają fale dźwiękowe. W celu zabezpieczenia przed powstawaniem fal stojących przeciwległe ściany wykonuje się względem siebie pod kątem [1, 4, 5].

W komorze pogłosowej wykonuje się pomiary:

- poziomu mocy akustycznej,
- pogłosowego współczynnika pochłaniania dźwięku,
- izolacyjności akustycznej małych próbek,
- współczynnika rozproszenia dźwięku.



Rys. 1. Komora pogłosowa Laboratorium Akustyki Technicznej AGH w Krakowie

Minimalna objętość komory pogłosowej  $V$  zależy od rozmiarów źródła dźwięku i od długości fali  $\lambda$  odpowiadającej najmniejszej średniej częstotliwości mierzonych pasm częstotliwości. Jeżeli pomiar wykonuje się w pasmach oktaowych, to zależność tę można przedstawić za pomocą wzoru:

$$V \geq 3 \cdot \lambda^3$$

Gdy hałas mierzy się w pasmach 1/3 oktawy tj. w pasmach tercjowych, to powyższy wzór przyjmie postać:

$$V \geq 9 \cdot \lambda^3$$

gdzie:

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

Objętość komory pogłosowej zgodnie z obowiązującymi normami (PN-83/B-02155) powinna wynosić  $200 \pm 20 \text{ m}^3$ . Dopuszcza się w pomiarach w komorach mniejszych, lecz nie mniejszych niż  $125 \text{ m}^3$ . Wymiary liniowe komory nie powinny stanowić wzajemnych całkowitych wielokrotności (np.  $n, n-1, \dots, 3, 2, 1$  oraz  $0.5, 0.75, 0.25$ ).

Zalecane stosunki wymiarów ( $l_x, l_y, l_z$ ) pomieszczenia pomiarowego w kształcie prostopadłościanu podaje polska norma PN-84/N-01331 (tabela 1).

Tabela 1. Zalecane stosunki wymiarów komory pogłosowej

$\frac{l_y}{l_x}$	$\frac{l_z}{l_x}$
0,83	0,47
0,83	0,65
0,79	0,63

Komora powinna spełniać warunki określone polską normą PN-85/N-01334, która jest w zasadzie zgodna z amerykańską ANSI S1.21-1972.

Czas pogłosu  $T$  określa się ustawiając w danym paśmie oktawowym poziom ciśnienia na wartość 90dB, a następnie na zapisywaczu pomiarowym rejestruje się krzywą opadania dźwięku w funkcji czasu do poziomu 60dB. Czas pogłosu pustej komory powinien być większy od wartości określonej wzorem:

$$T \geq T_{min} \cdot \left(\frac{V}{200}\right)^{\frac{1}{3}},$$

gdzie  $T_{min}$  patrz tabela 2.

Tabela 2. Minimalny czas pogłosu dla różnych częstotliwości

Środkowe częstotliwości pasm tercjowych, Hz	100 ÷ 800	1000	1250	1600	2000	2500	3200	4000	5000
Czas pogłosu $T_{min}$ , s	5	4,5	4,2	3,8	3,5	3	2,5	2	1,5

Znajomość wartości czasu pogłosu pozwala na określenie chłonności akustycznej komory oraz jej promienia krytycznego według wzorów:

$$A = 0,161 \frac{V}{T}$$

$$r_k = 0,08 \cdot \sqrt{\frac{V}{T}}$$

## Laboratoryjne badania maszyn w polu pogłosowym [1], [2]

- 1) Obliczenie średniej wartości poziomu ciśnienia akustycznego  $L_m$  wg wzoru:

$$L_m = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} \right); \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

Jeżeli różnice między poszczególnymi wartościami  $L_m$  nie są większe niż 5dB, wówczas średnią wartość  $L_m$  oblicza się wg wzoru:

$$L_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i; \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

Jeżeli wartości poziomu ciśnienia akustycznego podane są w  $j$ -tym paśmie częstotliwości, wówczas wartość  $L_m$  uzyskuje się w wyniku zsumowania wartości poziomu ciśnienia akustycznego w wyszczególnionych pasmach  $L_m^j$ :

$$L_m = 10 \log \left( \sum_{j=1}^n 10^{0,1 \cdot L_m^j} \right); \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

gdzie:  $L_i$  – poziom ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym punkcie pomiarowym,  
 $L_m^j$  – poziom ciśnienia akustycznego w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $n$  – ogólna liczba punktów pomiarowych.

2) Odchylenie standardowe  $S_m$  poziomu ciśnienia akustycznego.

$$S_m = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (L_i - L_m)^2}; \quad \text{wg PN-84/N-01331}$$

gdzie:  $L_i$  – poziom ciśnienia akustycznego w  $i$ -tym punkcie pomiarowym,  
 $L_m$  – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego.

3) Skorygowany poziom dźwięku A,  $L_A$ .

$$L_A^j = L_m^j + K_{Aj} \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

$$L_A = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{0,1 \cdot L_A^j}; \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

gdzie:  $L_m^j$  – poziom ciśnienia akustycznego w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $L_A^j$  – skorygowany poziom dźwięku w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $n$  – ogólna liczba pasm częstotliwości,  
 $K_{Aj}$  – poprawka wg charakterystyki A dla  $j$ -tego pasma częstotliwości (tabela 3).

Tabela 3. Poprawka korekcyjna  $K_{Aj}$  wg charakterystyki A miernika poziomu dźwięku dla  $j$ -tego pasma częstotliwości o częstotliwości środkowej (dla komory pogłosowej mieszczącej się w Laboratorium Napędów Hydraulicznych i Wibroakustyki Maszyn)

oktawa $j$ -ta f[Hz]	$K_{Aj}$
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0,0
2000	+1,2
4000	+1,0
8000	-1,1

- 4) Obliczenie średniej wartości skorygowanego poziomu dźwięku  $L_A$  wg wzoru:

$$L_A = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} \right); \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

Jeżeli różnice między poszczególnymi wartościami  $L_A$  nie są większe niż 5dB, wówczas średnią wartość  $L_A$  oblicza się wg wzoru:

$$L_A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i; \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

gdzie:  $L_i$  – poziom skorygowanego poziomu dźwięku w  $i$ -tym punkcie pomiarowym,  
 $n$  – ogólna liczba punktów pomiarowych.

- 5) Odchylenie standardowe  $S_A$  skorygowanego poziomu dźwięku.

$$S_A = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (L_i - L_A)^2}; \quad \text{wg PN-84/N-01331}$$

gdzie:  $L_i$  – skorygowany poziom dźwięku w  $i$ -tym punkcie pomiarowym,  
 $L_A$  – średnia wartość skorygowanego poziomu dźwięku.

- 6) Określenie poziomu mocy akustycznej **metodą techniczną**, bezpośrednia w pomieszczeniach pogłosowych bez adaptacji akustycznej:

$$L_p^j = L_m^j + 10 \cdot \log \frac{A^j}{A_0} - 5; \quad \text{wg PN-84/N-01331}$$

gdzie:  $L_m^j$  – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $L_p^j$  – średnia wartość mocy akustycznej w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $A^j$  – chłonność akustyczna w  $m^2$ , obliczona w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $A_0$  –  $1m^2$ .

- 7) Określenie poziomu mocy akustycznej **metodą techniczną**, bezpośrednia w pomieszczeniach pogłosowych z adaptacją akustyczną:

$$L_p^j = L_m^j - 10 \cdot \log \frac{T_{1000}}{T_0} + 10 \log \frac{V}{V_0} - 13; \quad \text{wg PN-84/N-01331}$$

gdzie:  $L_m^j$  – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $L_p^j$  – średnia wartość mocy akustycznej w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $V$  – objętość komory w  $m^3$ , ( $102m^3$ )  
 $V_0$  –  $1m^3$ ,  
 $T_{1000}$  – czas pogłosu pomieszczenia pomiarowego dla częstotliwości 1000Hz, (4,13s)  
 $T_0$  – 1s.

- 8) Określenie poziomu mocy akustycznej **metodą dokładną**. Poziom mocy akustycznej w pasmach częstotliwości oblicza się według wzoru:

$$L_p^j = L_m^j + 10 \cdot \lg \frac{A^j}{A_0} + 10 \lg \frac{1 + \frac{S_V \cdot \lambda}{8 \cdot V}}{1 - \frac{A^j}{S_V}} - 6 + C; \quad \text{wg PN-85/N-01334.}$$

gdzie:  $L_m^j$  – średnia wartość poziomu ciśnienia akustycznego w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $L_p^j$  – średnia wartość mocy akustycznej w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,

$A^j$  – chłonność akustyczna w  $m^2$ , obliczona w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,  
 $A_0$  –  $1m^2$ ,  
 $S_V$  – powierzchnia komory z podłogą,  
 $V$  – objętość komory w  $m^3$ ,  
 $V_0$  –  $1m^3$ ,  
 $\lambda$  – długość fali,  
 $C$  – poprawka zależna od warunków klimatycznych (dla ciśnienia atmosferycznego 100kPa i temperatury 20°C,  $C=0$ ).

Tabela 4. Zestawienie wyników obliczeń pomocnych przy wyznaczaniu poziomu mocy akustycznej metodą dokładną (dla komory pogłosowej mieszczącej się w Laboratorium Napędów Hydraulicznych i Wibroakustyki Maszyn)

oktawa $j$ -ta f[Hz]	$10 \cdot \lg \frac{A^j}{A_0}$	$10 \lg \frac{1 + \frac{S_V \cdot \lambda}{8 \cdot V}}{1 - \frac{A^j}{S_V}}$
125	5,12	1,77
250	5,12	1,02
500	5,70	0,79
1000	6,00	0,37
2000	6,11	0,26
4000	7,00	0,23

9) Określenie poziomu mocy akustycznej  $L_p$ :

$$L_p = 10 \log \left( \sum_{j=1}^n 10^{0,1 \cdot L_p^j} \right);$$

gdzie:  $L_p$  – poziom mocy w dB względem 1pW,

$L_p^j$  – średnia wartość mocy akustycznej w  $j$ -tym paśmie częstotliwości.

10) Określenie skorygowanego poziomu mocy akustycznej A,  $L_{pA}^j$  w  $j$ -tym paśmie częstotliwości:

$$L_{pA}^j = L_p^j + K_{Aj}; \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

gdzie:  $L_p^j$  – poziom mocy akustycznej w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,

$K_{Aj}$  – poprawka wg charakterystyki A dla  $j$ -tego pasma częstotliwości (tabela 3).

11) Określenie skorygowanego poziomu mocy akustycznej A,  $L_{pA}$ :

$$L_{pA} = 10 \log \sum_{j=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{pA}^j}; \quad \text{wg PN-81/N-01306}$$

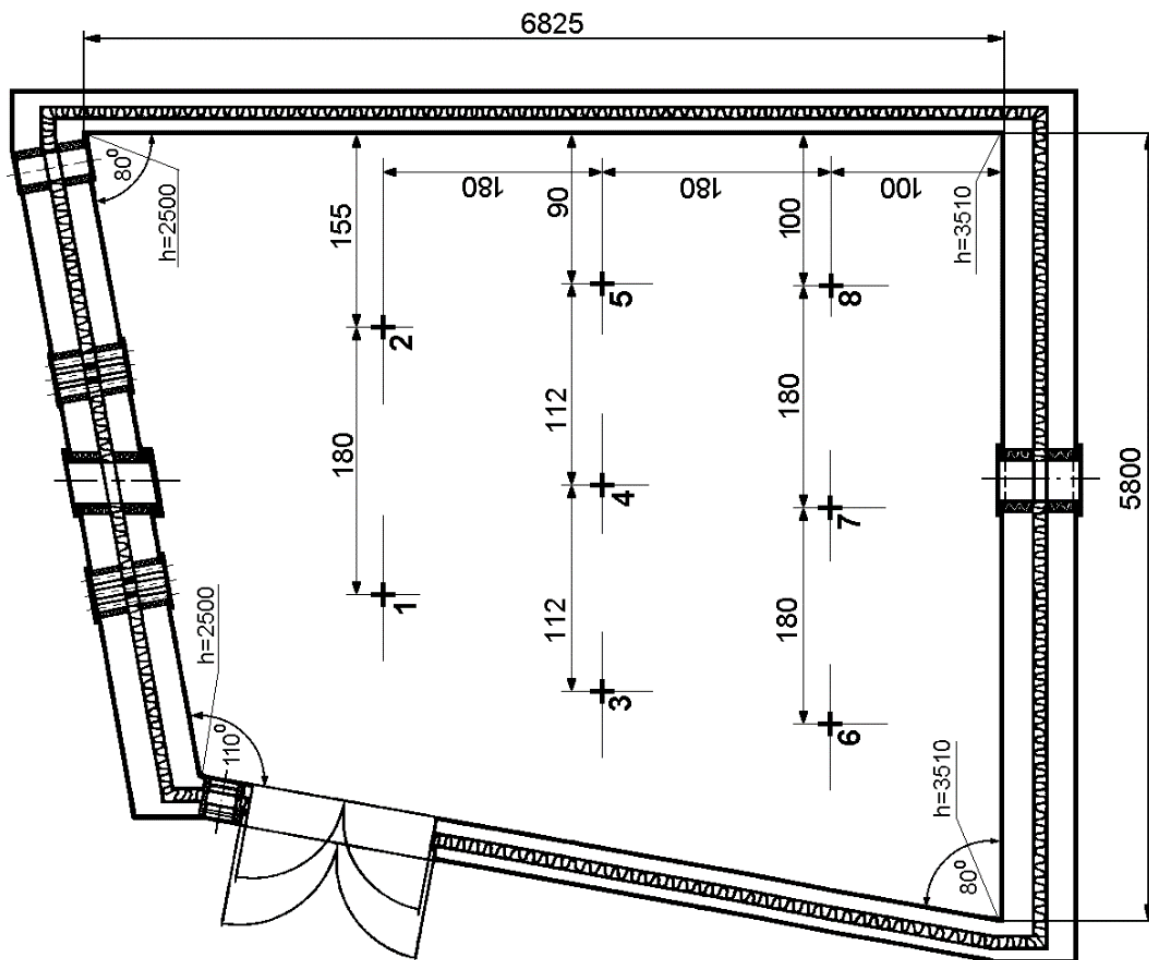
gdzie:  $L_{pA}^j$  – skorygowany poziom mocy akustycznej w  $j$ -tym paśmie częstotliwości,

$n$  – ogólna liczba pasm częstotliwości.

## Ćwiczenie laboratoryjne

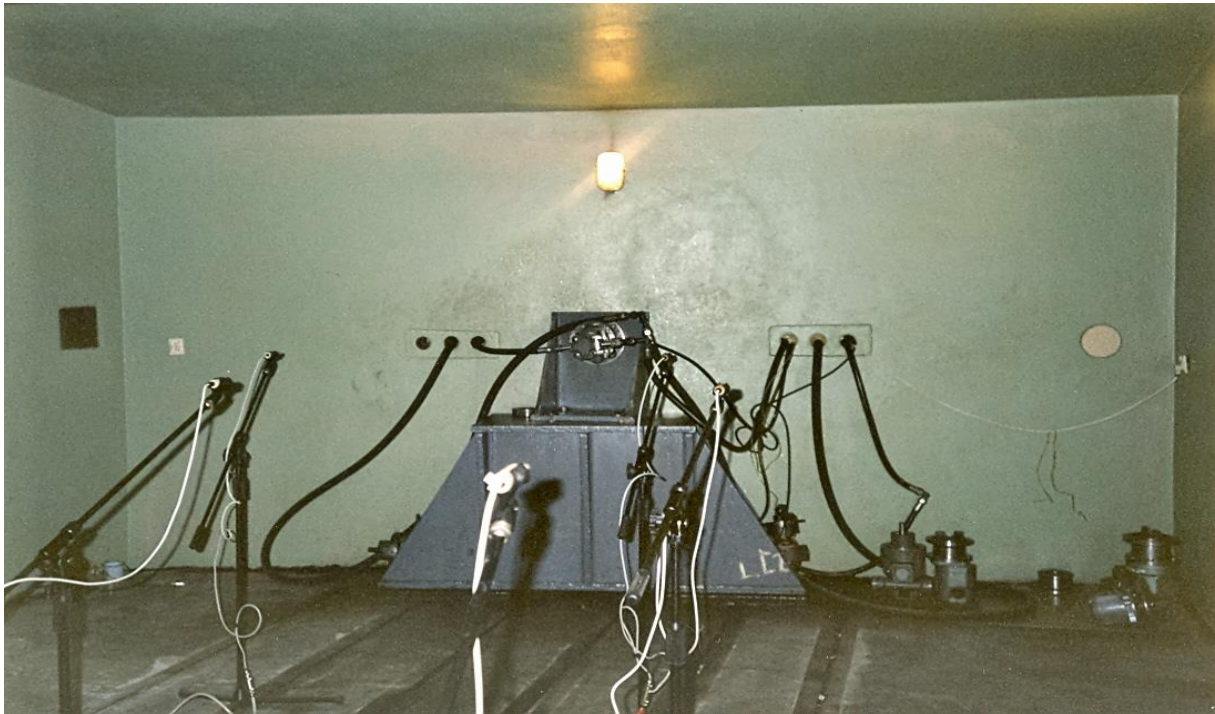
Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego dźwięku wydawanego przez pompę zębatą będą przeprowadzone w komorze pogłosowej mieszczącej się w Laboratorium Napędu Hydraulicznego i Wibroakustyki Maszyn przy Politechnice Wrocławskiej. Rzut oraz zdjęcie komory pogłosowej zostały przedstawione na rysunku 2 oraz 3. Spełnia ona wytyczne sprecyzowane w normach ANSI S1.21-1972 i PN-85/N-01334 zapewniające możliwość atestowania maszyn pod kątem drgań i hałasu.

W oparciu o przeprowadzone badania rozkładu pola akustycznego wyznaczono w komorze osiem punktów pomiarowych, gdzie ustawiono mikrofony. Wysokość na jakiej znajdują się mikrofony odpowiada wysokości osi wału napędowego i wynosi 1,3 m od podłogi.

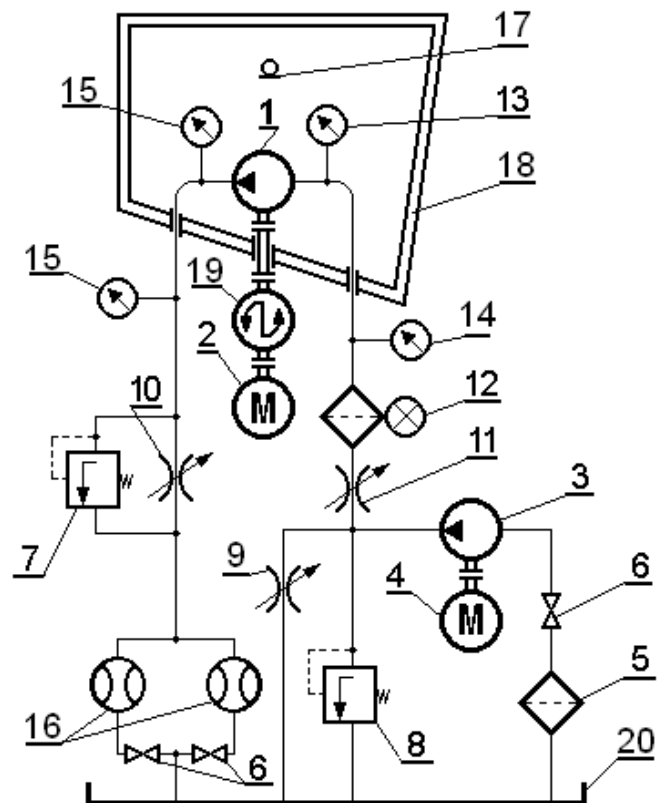


Rys. 2. Komora pogłosowa

Schemat układu badanej pompy znajduje się na rysunku 4. Badana pompa 1 jest napędzana silnikiem 2 prądu stałego o mocy nominalnej 100kW. Współpracuje on z tyrystorowym układem sterującym, który daje możliwość płynnej zmiany prędkości obrotowej wałka pompy w zakresie od 0 do 2000obr/min. Zawory bezpieczeństwa 7 i 8 zabezpieczają pompę badaną i pompę wstępnego ciśnienia 3. Za pomocą zaworu dławiącego 10 zapewnia się obciążenie pompy badanej. Przepływomierz turbinkowy 16 mierzy wydajność rzeczywistą pompy. Zintegrowane czujniki momentu i prędkości obrotowej 19 mierzą moment i liczbę obrotów na wale pompy, a także pomagają ustalić prędkość silnika napędowego [2, 3].



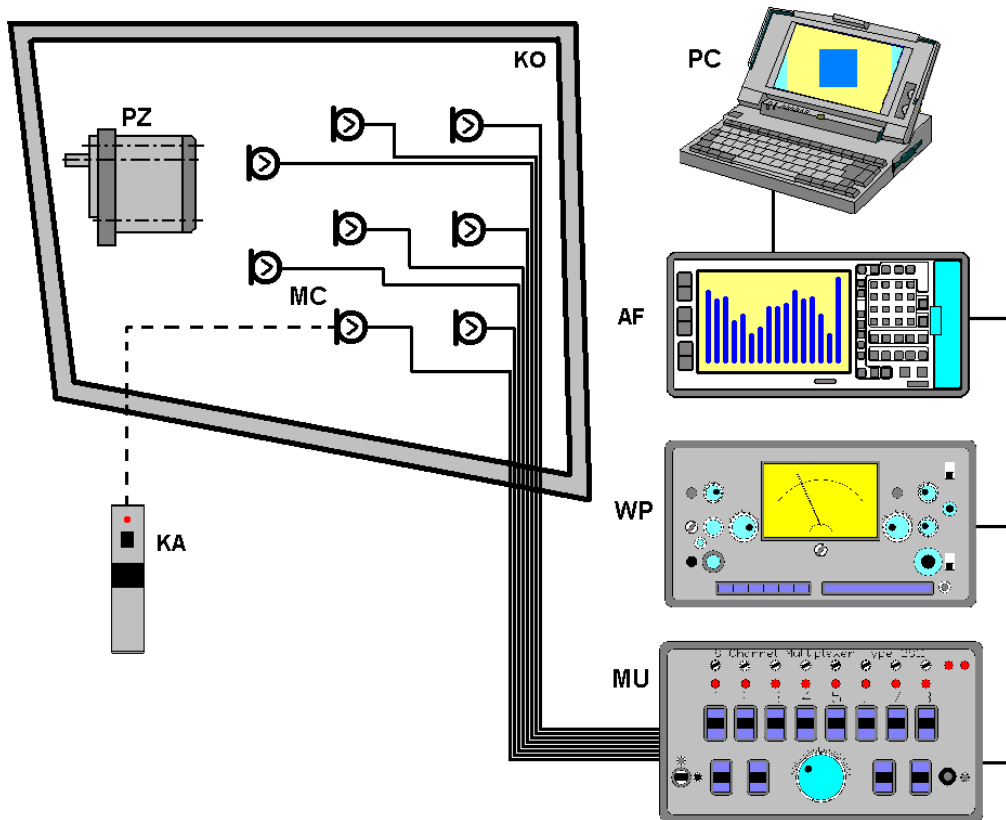
Rys. 3. Widok komora pogłosowej pogłosowej mieszczącej się w Laboratorium Napędów Hydraulicznych i Wibroakustyki Maszyn



Rys. 4. Schemat stanowiska badawczego



Mikrofony pomiarowe przesyłają sygnał do multipleksera, gdzie podczas odczytu danych wybierany wybiera się jeden z nich, a poziom ciśnienia akustycznego wraz z widmem częstotliwościowym wyświetlany jest na ekranie dwukanałowego analizatora częstotliwości (rys. 5) [2]. Studenci mają za zadaniem wyznaczyć skorygowany poziom mocy akustycznej A zgodnie z tokiem obliczeń podanym w rozdziale „Laboratoryjne badania maszyn w polu pogłosowym” tej instrukcji. Obiektem badań będzie pompa hydrauliczna wskazana przez prowadzącego zajęcia.



Rys.5. Schemat blokowy urządzeń do pomiarów akustycznych  
 KA – kalibrator, MC – mikrofony pola swobodnego, MU – multipleksor, WP – wzmacniacz pomiarowy, AF – dwukanałowy analizator częstotliwości, PC – komputer, PZ – pompa zębata, KO – komora

## Literatura

- [1] Dobrucki A., Szmal C.: *Raport z badania pogłosowej komory akustycznej w I-16*.
- [2] Osiński P.: *Pompy zębate o obniżonym poziomie emisji hałasu*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2017.
- [3] Osiński P.: *Wysokosprawnościowe pompy zębate*. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2019.
- [4] Łączkowski R.: *Wibroakustyka maszyn i urządzeń*. WNT, Warszawa 1983.
- [5] Engel Z.: *Wibroakustyka maszyn i środowiska*. Wiedza i Życie, Warszawa, 1995.