



Główny  
Urząd  
Miar

dokładnie  
**100 lat**  
1919-2019

# AKUSTYKA ULTRADŹWIĘKI DRGANIA MECHANICZNE

PRZEWODNIK PO DZIEDZINIE



[gum.gov.pl](http://gum.gov.pl)

Autorzy: Danuta Dobrowolska  
Joanna Kolasa

Redaktor: Paweł Fotowicz

Zdjęcia: Archiwum GUM



ul. Elektoralna 2  
00-139 Warszawa  
godziny pracy: 8:00-16:00

tel. 22 581 93 99 (centrala)  
fax: 22 581 93 92  
e-mail: [gum@gum.gov.pl](mailto:gum@gum.gov.pl)

Materiał opracowano w Biurze Strategii Głównego Urzędu Miar.

Główny Urząd Miar (GUM) jest krajową instytucją metrologiczną. Działa na rzecz zagwarantowania zdolności pomiarowych niezbędnych dla zrównoważonego rozwoju gospodarki, zapewnienia odpowiedniego poziomu jakości życia społeczeństwa oraz zabezpieczenia interesów obywateli.

Zadania GUM obejmują szerokie spektrum zagadnień związanych z metrologią, jednostkami miar, ich definicjami, jak również zaawansowanymi technologicznie wzorcami pomiarowymi oraz tematyką ochrony bezpieczeństwa gospodarczego i technicznego państwa.

# Spis treści

I	Wstęp .....	5
II	Potrzeby społeczne i gospodarcze związane z metrologią w dziedzinie AUV .....	7
III	Historia rozwoju dziedziny AUV w Głównym Urzędzie Miar .....	19
IV	Plan rozwoju dziedziny AUV .....	22
V	GUM w krajowym i międzynarodowym systemie metrologicznym w dziedzinie AUV ....	30
VI	Wykaz dokumentów związanych z dziedziną AUV .....	42
VII	Wykaz publikacji pracowników GUM w dziedzinie AUV w latach 2006–2020 .....	46
	Załącznik: Stanowiska pomiarowe .....	48



# I Wstęp

Akustyka to nauka interdyscyplinarna badająca teoretycznie i doświadczalnie zjawiska związane z powstawaniem i propagacją fal mechanicznych w gazach, cieczach i ciałach stałych, obejmująca zagadnienia dotyczące zarówno dźwięków słyszalnych, ultradźwięków, infradźwięków, jak też drgań mechanicznych (wibroakustyka). Akustyka jest jedną z najstarszych dziedzin fizyki, o czym świadczą wiadomości na jej temat podawane przez chińskich uczonych z około 3000 p.n.e. Zajmowali się nią starożytni Grecy: Terpander (VII w. p.n.e.), Pitagoras (VI w. p.n.e.), Didymos (I w. p.n.e.), którzy stworzyli systemy dźwiękowe. Początek akustyki klasycznej dał w XVII w. Galileusz. Podstawy teorii zjawisk akustycznych są natomiast dziełem lorda Rayleigha. Współczesna akustyka obejmuje oprócz akustyki ogólnej, zajmującej się zagadnieniami podstawowymi, również szereg działów akustyki stosowanej, do których można zaliczyć między innymi:

- elektroakustykę (otrzymywanie energii drgań akustycznych z energii elektrycznej i odwrotnie),
- akustykę architektoniczną (rozchodzenie się dźwięku w pomieszczeniach zamkniętych – jakość akustyczna sal koncertowych, teatrów, studiów radiowych, telewizyjnych, zagadnienia izolacji dźwiękowej przegród budowlanych – ścian, stropów i in.),
- akustykę urbanistyczną (rozchodzenie się dźwięku na terenach zurbanizowanych – właściwe planowanie miast i osiedli z uwzględnieniem tras komunikacyjnych i obiektów przemysłowych),
- akustykę muzyczną (wytwarzanie dźwięku w instrumentach muzycznych i podczas śpiewu, jego rozprzestrzenianie się i zapis na nośnikach dźwięku, problemy percepcji dźwięków),
- akustykę fizjologiczną i psychologiczną (budowa i działanie organów mowy i słuchu, badanie uszkodzeń słuchu i ich przyczyn, badanie zrozumiałości mowy, wpływ hałasu na organizm ludzki),
- akustykę podwodną (hydroakustykę) (rozchodzenie się fal sprężystych w wodzie – zjawiska akustyczne w wodach mórz i oceanów),
- akustykę przemysłową (hałas związany z działalnością przemysłową i jego oddziaływaniem na człowieka, redukcja hałasu),
- wibroakustykę (ogół zjawisk dynamicznych, mechanoakustycznych, związanych z pracą maszyn i urządzeń i oddziałujących na ludzi i otoczenie, w tym na otoczenie techniczne),
- geoakustykę (rozchodzenie się dźwięków w skorupie ziemskiej, hydrosferze i atmosferze, rejestrowanie fal akustycznych wytwarzanych przez trzęsienia ziemi i tsunami, wybuchy jądrowe).

Każdy z wymienionych działów jest mocno powiązany z metrologią akustyczną – nauką o pomiarach zajmującą się definiowaniem jednostek różnych wielkości akustycznych, realizacją (odtworzeniem) tych jednostek za pomocą wzorców pierwotnych oraz powiązaniem pomiarów wykonywanych w praktyce z wzorcami pierwotnymi, za pomocą nieprzerwanego łańcucha porównań. Wymaga to stworzenia całego systemu metrologicznego zapewniającego spójność pomiarową zarówno na poziomie krajowym, jak i międzynarodowym, zgodnie z aktualnymi potrzebami gospodarczymi i społecznymi oraz zgodnie z aktualnym stanem wiedzy i rozwoju technologicznego. W metrologii akustycznej niektóre obszary, szczególnie dotyczące zagrożenia hałasem oraz ochroną zdrowia i środowiska, są dodatkowo regulowane prawnie na poziomie europejskim i krajowym

(wykaz wybranych przepisów prawnych UE oraz krajowych jest przedstawiony w rozdziale VI niniejszego opracowania).

Współczesna szeroko rozumiana metrologia akustyczna została podzielona na trzy obszary oznaczane literami A, U i V, które dotyczą odpowiednio:

A	Acoustics (Sound in Air, Airborne sound)	Akustyka (Dźwięk w powietrzu)
U	Ultrasound and Underwater Acoustics	Ultradźwięki i Akustyka podwodna
V	Vibration	Drgania mechaniczne

W opracowaniu dla całej dziedziny zastosowano oznaczenie AUV, powszechnie używane przez organizacje metrologiczne międzynarodowe i krajowe.

Najważniejsze instytucje tworzące międzynarodowy system metrologiczny, opracowujące dokumenty strategiczne i programy rozwoju, koordynujące porównania międzynarodowe oraz prace badawczo-rozwojowe, a także prowadzące prace normalizacyjne w dziedzinie AUV to:

- CCAUV CIPM – Komitet Doradczy ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań Międzynarodowego Komitetu Miar (International Committee for Weights and Measures – Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration),
- TC-AUV EURAMET – Komitet Techniczny EURAMET ds. Akustyki Ultradźwięków i Drgań (EURAMET Technical Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration),
- TC 13 OIML – Komitet Techniczny TC 13 Przyrządy pomiarowe w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych (Measuring instruments for acoustics and vibration),
- międzynarodowe organizacje normalizacyjne IEC, ISO – Komitety Techniczne:
  - TC 29 IEC ds. Elektroakustyki (Electroacoustics),
  - TC 87 IEC ds. Ultradźwięków (Ultrasonics),
  - TC 108 ISO ds. Drgań mechanicznych i uderzeń (Mechanical vibration and shock).

Krajowy system metrologiczny w dziedzinie AUV tworzą w Polsce:

- Główny Urząd Miar,
- okręgowe urzędy miar,
- laboratoria akredytowane wzorcujące i badawcze,
- metrologia wojskowa,
- producenci przyrządów pomiarowych,
- użytkownicy przyrządów pomiarowych,

wspierane przez Komitety Techniczne Polskiego Komitetu Normalizacyjnego i Polskie Centrum Akredytacji.

# II Potrzeby społeczne i gospodarcze związane z metrologią w dziedzinie AUV

## 1. Potrzeby społeczne i gospodarcze zidentyfikowane międzynarodowo

Dokument strategiczny [1] opracowany w Komitecie Doradczym CIPM ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań (CCAUV) identyfikuje następujące obszary potrzebujące spójności pomiarowej i współpracy metrologicznej w dziedzinie AUV.

Stakeholder (Interesariusze)	Application	Zastosowanie
Metrological bodies (Instytucje metrologiczne)	High precision metrology Precursor to other stakeholders	Metrologia największej dokładności Prekursor dla innych interesariuszy
Health (Zdrowie)	Hearing assessment Objective audiology Diagnostics (imaging) Therapy Cleaning and materials processing Occupational Safety Patient Safety Human body comfort (vibration)	Ocena słuchu Audiologia obiektywna Diagnostyka (obrazowanie) Terapia Czyszczenie i przetwarzanie materiałów Bezpieczeństwo pracy Bezpieczeństwo pacjenta Komfort ludzkiego ciała (drgania mechaniczne)
Industry (Przemysł)	Industrial design Equipment manufacturers Automotive Aerospace Testing Health and safety Cleaning procedures Robotics and machine tool Secondary Calibration and Test Laboratories	Projektowanie w przemyśle Producenci urządzeń Przemysł motoryzacyjny Przemysł lotniczy Badania Zdrowie i bezpieczeństwo Procedury czyszczenia Robotyka i obrabiarki Wzorcowania wtórne i badania Laboratoria
Consumer Electronics (Elektronika użytkowa)	Mobile devices Fitness Tracking	Urządzenia przenośne Śledzenie sprawności fizycznej
Trade (Handel)	Added value in performance of products	Wartość dodana w odniesieniu do właściwości wyrobów
Environment (Środowisko)	Marine noise pollution Climate change monitoring Air-borne environmental noise Earth quake monitoring Carbon capture and storage Public transportation Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO) International Monitoring System (IMS)	Zanieczyszczenie środowiska morskiego hałasem Monitoring zmian klimatycznych Hałas w środowisku powietrznym Monitoring trzęsień ziemi Sekwestracja dwutlenku węgla Transport publiczny Organizacja Traktatu o całkowitym zakazie prób jądrowych (CTBTO) Międzynarodowy Systemu Monitoringu (IMS)

Stakeholder (Interesariusze)	Application	Zastosowanie
Society (Społeczeństwo)	Environmental protection Psychological influence and human health Music and entertainment	Ochrona środowiska Wpływ na psychikę i zdrowie człowieka Muzyka i rozrywka
Energy (Energia)	Offshore oil and gas Marine renewable energy Biofuel production Wind	Ropa naftowa i gaz ziemny na morzu Morskie odnawialne źródła energii Produkcja biopaliw Wiatr
Standards Organizations (Organizacje normalizacyjne)	ISO, IEC, OIML Regional and National Bodies	ISO, IEC, OIML Organy regionalne i krajowe
Legal metrology (Metrologia prawna)	Regulators and Administration	Organy regulacyjne i administracyjne
Defense (Obrona)	Defense and security	Obrona i bezpieczeństwo
Ocean science and marine applications (Oceanografia i zastosowania morskie)	Ocean processes (e.g. currents and temperature) Hydrographic mapping Positioning, Navigation Communication Sonar Echo-sounding Geophysical survey	Procesy oceaniczne (np. prądy i temperatura) Mapowanie hydrograficzne Pozycjonowanie, Nawigacja Komunikacja Sonary Echosondy Badania geofizyczne

Problem zaspokojenia potrzeb społecznych i gospodarczych omawia też dokument *EURAMET 2020 Strategy* [2] podkreślając, że we współczesnym świecie dobrze rozwinięta infrastruktura metrologiczna zapewnia poczucie bezpieczeństwa w wielu sferach życia, np.:

- umożliwia projektowanie i wytwarzanie wiarygodnych, wysokiej jakości innowacyjnych wyrobów,
- wspiera konkurencyjność i zrównoważony rozwój przemysłu,
- usuwa bariery w handlu i wspiera uczciwą konkurencję,
- zapewnia bezpieczeństwo i skuteczność opieki zdrowotnej,
- pozwala sprostać wielkim wyzwaniom związanym z wytwarzaniem energii i ochroną środowiska

oraz definiuje kluczowych interesariuszy, którymi są przemysł i gospodarka, rządy krajowe, Wspólnota Europejska, organizacje normalizacyjne, uczelnie wyższe, metrologia prawna.

Strategiczny plan badań naukowych dla metrologii w Europie [3] podkreśla, że największe wyzwania stojące przed metrologią w najbliższych latach dotyczą zdrowia, środowiska, energii oraz wspierania innowacyjności. W odniesieniu do metrologii akustycznej wymienia trzy obszary wymagające badań i rozwoju:

- optyczna realizacja wzorców akustycznych,
- metrologia dotycząca infradźwięków i ultradźwięków w powietrzu,
- pomiary wektorowych wielkości akustycznych, takich jak przemieszczenie czy prędkość cząstki.



## 2. Potrzeby społeczne i gospodarcze krajowe

Obecne potrzeby krajowe w odniesieniu do metrologii w dziedzinie AUV dotyczą głównie zapewnienia spójności pomiarowej poprzez utrzymywanie wzorców i wzorcowanie aparatury pomiarowej. Zaczynają się jednak pojawiać pomysły wspólnych projektów badawczych z innymi podmiotami z kręgów nauki czy przemysłu. Dotychczas możliwości prawne udziału GUM w takich projektach były bardzo ograniczone, poza tym GUM był słabo rozpoznawalny w kręgach naukowych i przemysłowych jako potencjalny uczestnik, a jego infrastruktura techniczna, nastawiona głównie na wykonywanie usług wzorcowania, nie zawsze była odpowiednia i wystarczająca. Kontakty z instytucjami naukowymi i badawczymi, czy też przemysłem, miały raczej charakter konsultacji niż współpracy. Tymczasem współczesna gospodarka i społeczeństwo oczekują realnego, szerokiego wsparcia od metrologii zarówno w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej na poziomie nadążającym za rozwojem technologicznym, jak też wsparcia w projektach naukowo-badawczych. Główne obszary potrzebujące takiego wsparcia przedstawiono i omówiono poniżej, ukazując jednocześnie związane z tymi obszarami regulacje prawne obowiązujące w Polsce. Każdy z obszarów jest opisany oddzielnie, ale mogą występować między nimi synergie i elementy wspólne. Dobrze rozwinięta infrastruktura metrologiczna wspiera wszystkie obszary, a z kolei obszary dotyczące problemów hałasu i zdrowia zachodzą na siebie.

### 2.1. Infrastruktura metrologiczna, aparatura pomiarowa

#### Zagadnienia

- Spójność pomiarowa dla wszystkich pomiarów dotyczących dziedziny AUV – zakres spójności dostosowany do aktualnych potrzeb
- Badania biegłości (porównania międzylaboratoryjne) akredytowanych laboratoriów pomiarowych
- Badania aparatury pomiarowej, w tym badania typu mierników poziomu dźwięku
- Nowe rozwiązania w zakresie aparatury pomiarowej
- Wsparcie badań naukowych

#### Regulacje prawne

- Ustawa Prawo o miarach [41]
- Ustawa o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku [42]

Pojawiające się nowe potrzeby dotyczące pomiarów w dziedzinie AUV wymuszają ciągły rozwój infrastruktury metrologicznej, w tym wzorców pierwotnych, zarówno co do zakresu częstotliwości, jak i zakresu dynamiki. Są też motorem napędowym rozszerzania możliwości pomiarowych, np. o pomiary ultradźwięków rozchodzących się w powietrzu, czy też realizację jednostki mocy akustycznej. Przeprowadzona w 2009 r. modernizacja wzorca pierwotnego ciśnienia akustycznego i rozszerzenie zakresu częstotliwości do 2 Hz było spowodowane między innymi zgłaszanym zapotrzebowaniem na spójność pomiarową w zakresie częstotliwości infradźwiękowych. Obserwuje się też dążenie do zapewnienia spójności pomiarowej w dziedzinie akustyki za pomocą

metod optycznych (realizowane z powodzeniem w dziedzinie drgań mechanicznych) i tym samym odejście od wzorca pierwotnego w postaci artefaktu.

Postęp w produkcji czujników i aparatury pomiarowej, np. systemy tanich, trwałych czujników, zdolnych do pracy bezprzewodowej, stawia przed metrologią akustyczną nowe zadania związane z zapewnieniem spójności pomiarowej, np. zdalna samokalibracja, przetwarzanie danych w sieci, analiza niepewności.

Polscy producenci aparatury stosowanej w dziedzinie AUV oczekują wsparcia w zakresie przeprowadzania badań nowych rozwiązań, a regulacje prawne dotyczące mierników poziomu dźwięku i zakresu ich kontroli metrologicznej narzucają obowiązek badania typu.

Wiedza metrologiczna dotycząca spójności pomiarowej, wzorców i aparatury pomiarowej oraz związanej z nimi niepewności może i powinna być wsparciem dla badań naukowych.

## 2.2. Ochrona środowiska

### 2.2.1. Ochrona środowiska naturalnego przed hałasem

Zagadnienia

- Badanie hałasu środowiskowego w obrębie miasta lub jego fragmentu, na obszarze kraju, województwa, gminy (sporządzanie map hałasu i ich weryfikacja)
- Badanie hałasu komunikacyjnego, którego źródłem są drogi, linie kolejowe, linie tramwajowe
- Badanie hałasu, którego źródłem są lotniska, trasy przelotów statków powietrznych, tereny przyległe do lotniska, w tym stały monitoring lotnisk
- Badanie hałasu przemysłowego (elektrownie, elektrociepłownie, linie elektroenergetyczne, maszyny, instalacje, urządzenia przemysłowe, obiekty produkcyjne)
- Badanie skuteczności tłumienia hałasu przez ekrany akustyczne usytuowane w środowisku

Zagadnienia ochrony środowiska naturalnego przed hałasem reguluje w Unii Europejskiej Dyrektywa 2002/49/WE [43], wprowadzona do prawodawstwa polskiego *ustawą Prawo ochrony środowiska* [44]. Uzyskiwaniem danych oraz oceną i obserwacją zmian stanu środowiska zajmuje się Państwowy Monitoring Środowiska (PMŚ), zgodnie z ustawą o Inspekcji Ochrony Środowiska [45]. Celem programów PMŚ dotyczących monitoringu hałasu jest rozwój infrastruktury pomiarowej i metod oceny stanu akustycznego, jak również monitorowanie i ocena skuteczności programów naprawczych dotyczących ochrony przed hałasem. Na potrzeby oceny stanu akustycznego środowiska sporządzane są mapy akustyczne, na podstawie których tworzone są następnie programy ograniczenia hałasu na obszarach, na których poziom hałasu przekracza wartości dopuszczalne. Programy te dotyczą:

- budowy ekranów akustycznych,
- wymiany okien w domach mieszkalnych przy trasach intensywnego ruchu,
- unowocześnienia taboru komunikacji publicznej,
- budowy obwodnic wokół miast,
- wprowadzenia linii kolejowych i tras szybkiego ruchu na obszarze miast do wykopów i tuneli oraz weryfikacji tych działań.

Podstawowym celem obowiązujących przepisów prawnych jest uzyskiwanie, a następnie utrzymywanie poziomu substancji zanieczyszczających środowisko (w tym hałasu) poniżej

wyznaczonego standardu jakościowego. Część przepisów UE zawiera nawet wymagania co do wartości niepewności, z jaką ocena poziomu tych substancji powinna być wykonywana. Mając na uwadze spełnienie tych wymagań, a także systematyczną poprawę jakości i wiarygodności danych pozyskiwanych w ramach realizacji programu, podejmowane są działania zmierzające do wdrożenia systemu jakości w poszczególnych podsystemach monitoringu, a także takie działania jak:

- akredytacja laboratoriów badawczych,
- modernizacja infrastruktury pomiarowej,
- dobór odpowiednich metod pomiaru z jednoczesnym dążeniem do ich ujednoczenia,
- określenie jednolitych zasad odnośnie wzorcowania aparatury pomiarowej.

Przedstawione działania, szczególnie te związane z akredytacją laboratoriów badawczych oraz określeniem zasad odnośnie wzorcowania aparatury pomiarowej spowodowały, że Główny Urząd Miar został pośrednio wciągnięty do realizacji programu PMŚ. Wyposażenie pomiarowe akredytowanych laboratoriów badawczych tj. mierniki poziomu dźwięku, stacje monitoringu hałasu (np. na lotniskach), systemy pomiarowe służące do weryfikacji map akustycznych, kalibratory akustyczne stanowiące wyposażenie tych przyrządów oraz mikrofony pomiarowe powinny zapewniać dostateczną dokładność oraz powiązanie wyników pomiarów z wzorcami. To spowodowało, że zainteresowanie użytkowników zapewnieniem spójności pomiarowej dla przyrządów stosowanych do pomiaru hałasu jest bardzo duże.

### **2.2.2. Emisja hałasu do otoczenia przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń**

Emisja hałasu do otoczenia przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń jest regulowana na poziomie europejskim zgodnie z Dyrektywą 2005/88/WE [46]. Urządzenia, które mogą być przeznaczone do pracy na zewnątrz pomieszczeń (w tym całe obiekty produkcyjne) i przyczyniają się do narażenia środowiska na hałas, muszą być poddane ocenie zgodności z wymaganiami ww. dyrektywy wprowadzonej do prawodawstwa polskiego rozporządzeniem MGPIPS w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska [47].

Postanowienia zawarte w dyrektywie i rozporządzeniu mają na celu ochronę środowiska przed hałasem emitowanym przez różnego rodzaju urządzenia (głównie maszyny budowlane). Mają również istotne znaczenie dla ochrony przed hałasem stanowisk pracy operatorów tych urządzeń, a także stanowisk pracy usytuowanych w ich sąsiedztwie na zewnątrz pomieszczeń. Dyrektywa i rozporządzenie zawierają:

- wykaz urządzeń podlegających ograniczeniu emisji hałasu, w przypadku których w procesie oceny zgodności z zasadniczymi wymaganiami jest niezbędny udział jednostki notyfikowanej oraz wartości dopuszczalne poziomu mocy akustycznej tych urządzeń,
- wykaz urządzeń podlegających tylko oznaczeniu gwarantowanego poziomu mocy akustycznej, w przypadku których proces oceny zgodności jest objęty deklarowaniem zgodności przez producenta,
- metody i procedury badania hałasu poszczególnych rodzajów urządzeń.

## 2.2.3. Akustyka budowlana

### Zagadnienia

- Pomiary hałasu komunalnego (hałas w pomieszczeniach mieszkalnych, miejscach użyteczności publicznej)
- Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych
- Pomiary hałasu, którego źródłem są urządzenia techniczne w budynkach (węzły ciepłne, instalacja wentylacyjna, instalacja dźwigowa, transformatory)
- Badanie właściwości akustycznych materiałów

Wraz z rozwojem cywilizacyjnym niosącym ze sobą narastające zagrożenia hałasem społeczeństwo zwraca coraz większą uwagę na klimat akustyczny w budynkach mieszkalnych, budynkach użyteczności publicznej, biurach, szczególnie w obszarach silnie zurbanizowanych. Bardzo istotna staje się zarówno ocena hałasu w tych pomieszczeniach, jak również właściwe izolowanie tych pomieszczeń zarówno od hałasu komunikacyjnego, jak też od hałasu wytwarzanego przez urządzenia techniczne, a nawet wywoływanego aktywnością mieszkańców sąsiednich pomieszczeń. Zasady higieny akustycznej stosuje się do wszystkich elementów budynku. Zarówno przegrody zewnętrzne (łącznie z oknami), oddzielające wnętrze budynku od środowiska, jak też przegrody wewnętrzne powinny być dobierane pod kątem wymaganej izolacyjności akustycznej.

## 2.3. Przemysł, maszyny i urządzenia

### 2.3.1. Bezpieczeństwo maszyn – certyfikacja maszyn i urządzeń w zakresie hałasu i drgań mechanicznych

Jednym ze sposobów ochrony przed hałasem i drganiami mechanicznymi jest jego eliminacja u źródła, tzn. uwzględnienie wymagań dotyczących emisji hałasu i drgań mechanicznych przez maszyny i urządzenia już na etapie ich projektowania, natomiast w przypadku maszyn i urządzeń wprowadzonych do środowiska pracy – podjęcie takich działań technicznych, aby wypełniły one wymagania związane z oceną. W postanowieniach zawartych w Dyrektywie 2006/42/WE [48] oraz wdrażającym ją rozporządzeniu MG w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn [49] określono podstawowe wymagania dla maszyn i urządzeń w zakresie ochrony przed hałasem i drganiami, zgodnie z którymi:

- maszyna powinna być zaprojektowana i wykonana w taki sposób, aby zagrożenia emitowanym hałasem i ryzyko wynikające z drgań wytwarzanych przez maszynę zostało ograniczone do możliwie najniższych poziomów, z uwzględnieniem postępu technicznego i dostępności środków ograniczających hałas i drgania, w szczególności u źródła ich powstawania,
- instrukcja powinna podawać wartości rzeczywiste hałasu emitowanego przez maszynę albo wartości hałasu określone w wyniku pomiarów wykonanych na identycznych maszynach,
- w odniesieniu do drgań instrukcje muszą podawać informacje dotyczące drgań przenoszonych przez maszynę na układ dłoń/ramię lub na całe ciało.

Producent lub jego upoważniony przedstawiciel powinien sporządzić dla każdej wyprodukowanej maszyny odpowiednią deklarację zgodności maszyny z wymaganiami określonymi

w rozporządzeniu. W trakcie przeprowadzania procedury oceny zgodności niektórych maszyn określonych w załączniku do rozporządzenia wymagany jest udział jednostki notyfikowanej.

### 2.3.2. Ochrona środowiska pracy przed hałasem i drganiami

#### Zagadnienia

- Pomiary hałasu na stanowiskach pracy w zakresie częstotliwości słyszalnych, infradźwiękowych i ultradźwiękowych
- Pomiary drgań mechanicznych oddziałujących na człowieka na stanowiskach pracy
- Hałas emitowany przez maszyny i urządzenia – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego emisji na stanowisku pracy
- Pomiary poziomu dźwięku wytwarzanego przez sygnały bezpieczeństwa
- Badanie ochronników słuchu

Hałas, którego źródłem są maszyny, urządzenia lub procesy technologiczne, jest jednym z podstawowych czynników stanowiących zagrożenie w środowisku pracy. Problem szkodliwego oddziaływania hałasu w środowisku pracy znalazł odzwierciedlenie w Dyrektywie 2003/10/WE [50], a drgań mechanicznych w Dyrektywie 2002/44/WE [51], wprowadzonych do prawodawstwa polskiego rozporządzeniem MGiP w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne [52]. Dyrektywa ustanowiła wartości graniczne ekspozycji, na jakie może być narażony pracownik oraz górne i dolne wartości progów działania, przy których pracodawca jest zobowiązany podjąć określone działania prewencyjne, obejmujące przede wszystkim wyznaczenie i ocenę ryzyka zawodowego. Oceny narażenia na hałas i drgania mechaniczne dokonuje się porównując zmierzone wartości wielkości określających hałas i drgania na stanowisku pracy z ich wartościami dopuszczalnymi, określonymi w załączniku do rozporządzenia MPiPS w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy [53].

Bardzo ważnym problemem na stanowiskach pracy jest hałas niskoczęstotliwościowy, którego głównym źródłem są maszyny przepływowe, urządzenia energetyczne, piece hutnicze oraz urządzenia odlewnicze. Dominującym efektem wpływu infradźwięków na organizm jest ich działanie uciążliwe, występujące już przy niewielkich przekroczeniach progu słyszenia, charakteryzujące się stanami nadmiernego zmęczenia, dyskomfortu, senności, zaburzeniami równowagi, sprawności psychomotorycznej. Gdy poziom ciśnienia akustycznego przekracza wartość 140 dB, infradźwięki mogą powodować trwałe, szkodliwe zmiany w organizmie. Z kolei głównymi źródłami hałasu ultradźwiękowego w środowisku pracy są m.in. myjki ultradźwiękowe, zgrzewarki ultradźwiękowe, drążarki i lutownice ultradźwiękowe, obrabiarki do metalu. Ultradźwięki mogą wnikać do organizmu przez narząd słuchu oraz przez całą powierzchnię ciała. Badania wykazały, że ekspozycja na hałas ultradźwiękowy o poziomach przekraczających wartości dopuszczalne może powodować bóle i zawroty głowy, zaburzenia równowagi, nudności, senność, nadmierne zmęczenie, uszkodzenia narządu wzroku.

Zagrożenie hałasem dotyczy również stanowisk pracy umysłowej, ponieważ poza szkodliwym oddziaływaniem hałasu, przy mniejszych jego poziomach ujawnia się jego negatywne działanie psychofizyczne. Hałas taki może utrudniać lub wręcz uniemożliwiać realizację pracy, a także powodować wzrost błędów wiążących się ze spadkiem koncentracji, uniemożliwieniem komunikacji słownej oraz odbioru sygnałów bezpieczeństwa.



Ponadto, w przypadku, gdy uniknięcie lub wyeliminowanie ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na hałas nie jest możliwe za pomocą środków ochrony zbiorowej lub organizacji pracy, pracodawca udostępnia środki ochrony indywidualnej słuchu. Właściwości akustyczne środków ochrony indywidualnej słuchu są oceniane w procesie certyfikacji, którego celem jest zbadanie ich zgodności z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 [54].

### 2.3.3. Homologacja pojazdów różnego typu

Przepisy prawne

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 168/2013 [56]
- Dyrektywa 2007/46/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [57]
- Dyrektywa 2003/37/WE Parlamentu Europejskiego i Rady [58]

W ramach homologacji pojazdów wykonywanej zgodnie z właściwymi dla danego rodzaju pojazdu dyrektywami oraz właściwymi rozporządzeniami Ministra Infrastruktury wprowadzającymi je do prawodawstwa polskiego, mierzony jest poziom hałasu pojazdów podczas postoju i podczas jazdy.

### 2.3.4. Certyfikacja statków powietrznych w zakresie hałasu

Zgodnie z Rozporządzeniem (WE) Nr 216/2008 [59] wszystkie statki powietrzne muszą spełniać wymagania ochrony środowiska, w tym, w zakresie hałasu, wymagania Konwencji o międzynarodowym lotnictwie cywilnym (ICAO), Załącznik 16 – Ochrona środowiska, Tom I – Hałas statków powietrznych. Spełnienie tych wymagań potwierdza Urząd Lotnictwa Cywilnego poprzez wydanie Świadectwa zdatności w zakresie hałasu (noise certificate), co jest warunkiem zarejestrowania i dopuszczenia statku powietrznego do użytkowania.

### 2.3.5. Hałas wytwarzany przez urządzenia gospodarstwa domowego

Dyrektywa Rady 86/594/EWG [60] określała warunki, na jakich publikacja informacji na temat hałasu emitowanego przez urządzenia gospodarstwa domowego mogła być wymagana przez Państwa Członkowskie, a także definiowała procedurę mającą na celu określenie poziomu hałasu. W ramach harmonizacji emisje hałasu zostały włączone do zintegrowanej oceny działań w zakresie środowiska zgodnie z Dyrektywą 2005/32/WE [61]. Istotne aspekty środowiskowe określane są obecnie w odniesieniu do różnych etapów cyklu życia produktu od wyboru i wykorzystania surowca, aż po użytkowanie oraz koniec jego przydatności do użycia. Dla każdego etapu dokonuje się oceny różnych aspektów środowiskowych, w tym (o ile ma to zastosowanie) przewidywane zanieczyszczenie poprzez skutki fizyczne takie jak hałas i wibracje.

### 2.3.6. Hałas wytwarzany przez zabawki

Przez zabawkę rozumie się każdy produkt lub materiał, który w swym zamierzeniu jest przeznaczony do używania podczas zabawy przez dzieci w wieku poniżej 14 lat. Zabawki zaprojektowane do wydawania dźwięku powinny być zaprojektowane i wytworzone w taki sposób pod względem maksymalnych wartości hałasu impulsowego i ciągłego, aby wydawany przez nie dźwięk nie mógł uszkodzić słuchu dzieci. Każda zabawka, która ma być wprowadzona na rynek europejski, powinna być poddana procedurze oceny zgodności z Dyrektywą 2009/48/EC [62].

## 2.4. Badanie, ocena i ochrona słuchu

### Zagadnienia

- Audiometry i inne przyrządy stosowane do badania i oceny słuchu
- Aparaty słuchowe
- Badania audiologiczne w ramach diagnostyki i orzecznictwa – dobór aparatów słuchowych

Zgodnie z Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/745 [63], uprzednio Dyrektywą 93/42/EWG [64] i ustawą o wyrobach medycznych [65] audiometry są wprowadzane na rynek zgodnie z procedurami przewidzianymi dla klasy IIa (m.in. deklaracja zgodności WE oparta na pełnym systemie zapewniania jakości producenta). Bez względu na zastosowane procedury audiometry muszą być poddawane badaniom, co najmniej na etapie produkcji, potwierdzającym ich zgodność z normami zharmonizowanymi z dyrektywą (seria norm PN-EN 60645), a podmiot dokonujący tych badań powinien stosować wzorce, dla których zapewniona jest spójność pomiarowa. GUM jest wymieniony w ustawie o wyrobach medycznych jako instytucja współpracująca z Prezesem Urzędu Rejestracji Wyrobów Medycznych w nadzorze nad wyrobami medycznymi wytwarzanymi, wprowadzanymi i wprowadzonymi do używania na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej.

## 2.5. Hałas towarzyszący działalności wojskowej

### Zagadnienia

- Pomiar hałasu impulsowego
- Pomiar hałasu o bardzo dużych wartościach poziomu
- Porozumiewanie się w warunkach zagrożenia hałasem
- Ochrona słuchu

## 2.6. Potrzeby w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych

### Zagadnienia

- Diagnostyka ultradźwiękowa
- Terapia ultradźwiękowa: High Intensity Focused Ultrasound (HIFU), High Intensity Therapeutic Ultrasound (HITU)
- Wsparcie producentów aparatury ultradźwiękowej
- Wsparcie metrologiczne badań naukowych w dziedzinie ultradźwięków

Zgodnie z Rozporządzeniem 2017/745 w sprawie wyrobów medycznych [63] (obowiązuje od 26 maja 2020 r., uprzednio Dyrektywa 93/42/EWG [64]) oraz zgodnie z ustawą o wyrobach medycznych [65] urządzenia ultradźwiękowe do diagnostyki i terapii wymagają w procesie oceny zgodności badań przeprowadzonych zgodnie z normą zharmonizowaną. W Polsce jest dwóch producentów ultrasonografów oraz kilku producentów głowic ultradźwiękowych, którzy oczekują na rozpoczęcie działalności GUM w tym obszarze.

## 2.7. Potrzeby w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach przemysłowych

### Zagadnienia

- Czyszczenie ultradźwiękowe
- Produkcja leków
- Pasteryzacja
- Produkcja biogazów
- Badania nieniszczące (monitorowanie obiektów i procesów, które w nich zachodzą – pomiary emisji akustycznej w ciałach stałych i cieczach, np. badania emisji konstrukcji mostowych, lotniczych, diagnostyka zbiorników ropy naftowej, silników Diesla, badanie transformatorów energetycznych)

## 2.8. Udary mechaniczne

### Zagadnienia

- Działalność wojskowa
- Budownictwo
- Motoryzacja (crash-testy)
- Badanie bezpieczeństwa

## 2.9. Potrzeby w dziedzinie akustyki podwodnej

### Zagadnienia

- Ochrona środowiska morskiego przed hałasem towarzyszącym:
  - ruchowi statków
  - energetyce wiatrowej
  - poszukiwaniom ropy i gazu
  - budowie i eksploatacji platform wiertniczych
- Zastosowania militarne
- Mapowanie dna
- Badania naukowe

### Przepisy prawne

- Dyrektywa 2008/56/WE – dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej [66]
- Dyrektywa 92/43/EWG w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory [67]



### 3. Podmioty zainteresowane spójnością pomiarową i współpracą w dziedzinie AUV

Lista podmiotów zainteresowanych spójnością pomiarową w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych jest długa. Podmioty te są związane z działalnością wielu resortów, m.in. ministerstw właściwych ds. ochrony środowiska, zdrowia, pracy i polityki społecznej, gospodarki, infrastruktury, nauki, obrony narodowej i można wśród nich wymienić:

- 1) Instytucje związane z ochroną środowiska naturalnego i środowiska pracy, m.in.:
  - Wojewódzkie Inspektoraty Ochrony Środowiska i ich delegatury
  - Państwowa Inspekcja Pracy
  - Urząd Dozoru Technicznego
  - Stacje Sanitarно-Epidemiologiczne
  - Instytut Ochrony Środowiska
  - Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
  - Instytut Medycyny Pracy
  - Inne instytuty naukowo-badawcze, m.in.: Główny Instytut Górnictwa, Przemysłowy Instytut Motoryzacji, Instytuty: Transportu Samochodowego, Włókiennictwa, Elektrotechniki, Energetyki, Techniki Budowlanej, Lotnictwa, Mechanizacji Budownictwa i Górnictwa Skalnego, Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa, Zaawansowanych Technologii Wytwarzania, Nafty i Gazu
  - Różne inne instytucje badawcze, m.in.: Centrum Badawczo-Konstrukcyjne Obrabiarek, Centrum Naukowo-Produkcyjne Elektroniki Profesjonalnej „RADWAR”, Polskie Centrum Badań i Certyfikacji, Zakład Pomiarowo-Badawczy Energetyki „ENERGOPOMIAR-ELEKTRYKA”, Ośrodek Badawczo-Rozwojowy „PREDOM-OBR”, Ośrodek Badań i Kontroli Środowiska w Katowicach, Centrum Badań Jakości w Lublinie, Centrum Badań i Dozoru Górnictwa Podziemnego, H. CEGIELSKI – Centrum Badawczo-Rozwojowe
- 2) Uczelnie wyższe
- 3) Komórki BHP w zakładach przemysłowych (np. włókiennicze, chemiczne, rafineryjne, kopalnie, elektrociepłownie, huty, zakłady przemysłu maszynowego, motoryzacyjnego, elektrotechnicznego, itd.)
- 4) Stacje kontroli pojazdów
- 5) Wojsko Polskie
- 6) Policja
- 7) Akredytowane laboratoria wzorcujące i badawcze

W bazie Polskiego Centrum Akredytacji figuruje 7 akredytowanych laboratoriów wzorcujących w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych, około 90 laboratoriów badawczych akredytowanych w zakresie: „Badania akustyczne i hałasu – w tym hałasu spowodowanego przez drgania”, a wśród ponad 400 laboratoriów badawczych akredytowanych w zakresie: „Badania dotyczące inżynierii środowiska” i „Środowisko pracy”, większość ma w zakresie akredytacji pomiary hałasu i drgań mechanicznych. Ponadto wśród prawie 90 akredytowanych jednostek certyfikujących wyroby, wymienionych w bazie PCA, znajdują się jednostki mające w zakresie akredytacji certyfikację wyrobów w zakresie emisji hałasu i drgań mechanicznych, zgodnie z dyrektywami UE.

Zgodnie z polskimi regulacjami prawnymi laboratoria, zajmujące się pomiarami hałasu w środowisku oraz hałasu i drgań na stanowiskach pracy, powinny mieć wdrożony system zarządzania zgodny z normami właściwymi dla obszaru ich działania, a także posiadać akredytację. Wyposażenie pomiarowe tych laboratoriów, w tym mierniki poziomu dźwięku, indywidualne mierniki ekspozycji na dźwięk, stacje monitoringu hałasu (np. na lotniskach), kalibratory akustyczne stanowiące wyposażenie tych przyrządów oraz mikrofony pomiarowe, ponadto mierniki drgań mechanicznych działających na człowieka, mierniki drgań maszyn, kalibratory drgań oraz przetworniki drgań mechanicznych powinny zapewniać dostateczną dokładność oraz powiązanie wyników pomiarów z właściwymi wzorcami. Wymagania te stwarzają konieczność okresowej kontroli tego wyposażenia. Ponadto mierniki poziomu dźwięku stosowane do celów zgodnych z ustawą Prawo o miarach (czyli np. w ochronie zdrowia i środowiska naturalnego) muszą mieć zatwierdzenie typu. Biorąc pod uwagę przedstawione powyżej dane dotyczące liczby laboratoriów badawczych i jednostek certyfikujących akredytowanych w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych, łatwo sobie wyobrazić, jak duża liczba różnych przyrządów do pomiaru dźwięku i drgań wymaga w Polsce zapewnienia spójności pomiarowej.

W dotychczasowej historii metrologii akustycznej w GUM tylko nieliczne instytucje były zainteresowane szerszą współpracą, wykraczającą poza zapewnienie spójności pomiarowej. Dobrym przykładem jest Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy. Specjaliści z GUM cyklicznie biorą udział w odbiorach prac badawczych prowadzonych w CIOP, uczestniczą w organizowanych w CIOP seminariach, w ostatnich latach brali udział w projekcie dotyczącym opracowania metodyki pomiaru ultradźwięków rozchodzących się w powietrzu, opracowując następujące dokumenty:

- „Materiały informacyjne dotyczące stosowania mikrofonów w pomiarach hałasu w zakresie częstotliwości 10 kHz – 40 kHz”,
- „Identyfikacja czynników wpływających na niepewność pomiaru związanych z aparaturą do pomiarów ciśnienia akustycznego w zakresie 10 kHz – 40 kHz oraz analiza kontroli metrologicznej w tym zakresie częstotliwości”,
- „Wytyczne wyznaczania niepewności związanej z aparaturą do pomiarów ciśnienia akustycznego w zakresie 10 kHz – 40 kHz oraz zalecenia kontroli metrologicznej w tym zakresie częstotliwości”.

Warto też wspomnieć o współpracy z Akademią Górniczo-Hutniczą w ramach przekazywania wiedzy z zakresu metrologii akustycznej. Od kilku lat pracownicy GUM mają cyklicznie wykłady dotyczące zapewnienia spójności pomiarowej i kontroli metrologicznej przyrządów do pomiarów akustycznych i drgań mechanicznych na studiach podyplomowych „Ochrona środowiska przed hałasem i drganiami”.

### III Historia rozwoju dziedziny AUV w Głównym Urzędzie Miar

Działalność Głównego Urzędu Miar w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych rozpoczęła się we wczesnych latach 70. XX wieku w istniejącym wówczas Polskim Komitecie Normalizacji i Miar (następnie Polskim Komitecie Normalizacji, Miar i Jakości). W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych działalność ta była skupiona głównie na metrologii prawnej. Przyrządy stosowane do pomiaru dźwięku i drgań mechanicznych były wprowadzane na rynek na podstawie dopuszczenia do produkcji w odniesieniu do polskich producentów oraz zgody na import w odniesieniu do producentów zagranicznych. Większość z tych przyrządów podlegała obowiązkowi legalizacji.

Zmiany ustrojowe w Polsce po roku 1989, reaktywowanie Głównego Urzędu Miar w miejsce PKNMiJ oraz ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. „Prawo o miarach” rozpoczęły nowy etap w rozwoju metrologii akustycznej w Polsce. Początkowo nadal dość dużą część działalności GUM w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych stanowiła metrologia prawna – zatwierdzenie typu i legalizacja oraz uwierzytelnienie niektórych przyrządów (obowiązkowe i nieobowiązkowe, które było pierwszym krokiem w kierunku ich wzorcowania). Równolegle zaczęła się jednak rozwijać i nabierać coraz większego znaczenia metrologia naukowa. Odmową rolę w jej rozwoju odegrały szkolenia zagraniczne, w których uczestniczyli w latach dziewięćdziesiątych specjaliści z dziedziny akustyki i drgań z GUM:

1994 – Maria Szelaąg (obecnie emerytowany pracownik GUM) w NPL (Wlk. Brytania),

1995 – Danuta Dobrowolska w PTB (Niemcy),

1996 – Tadeusz Wąsala (obecnie emerytowany pracownik GUM) w PTB (Niemcy),

1996 – Joanna Kolasa (obecnie emerytowany pracownik GUM) i Wiesław Karczmarek (zmarły w 2011 r.) w PTB (Niemcy),

2006 – Mirosław Wiater w NPL (Wlk. Brytania).

Wiedza uzyskana w kontaktach ze specjalistami z najlepszych instytucji metrologicznych w Europie, zapoznanie się z nowoczesnym wyposażeniem pomiarowym i stosowanymi metodami, a także organizacją laboratoriów w tych instytucjach zostały wykorzystane w procesie budowania nowoczesnego laboratorium w GUM.

Wraz z postępującym rozwojem kraju, wzrostem świadomości technicznej użytkowników przyrządów pomiarowych, a także trendami światowymi przerzucającymi odpowiedzialność za nadzór nad wyposażeniem pomiarowym z organów państwa na użytkowników przyrządów, stopniowo ograniczano w Polsce listę przyrządów objętych obowiązkiem prawnej kontroli metrologicznej, proponując w jej miejsce usługi wzorcowania. Obecnie jedynie mierniki poziomu dźwięku podlegają obowiązkowi tej kontroli, ograniczonej do zatwierdzenia typu.

Niezwykle istotnymi wydarzeniami w historii dziedziny AUV w GUM były:

- budowa w 1998 r. wzorca pierwotnego ciśnienia akustycznego, możliwa dzięki przedakcesyjnym funduszom Unii Europejskiej w ramach programu PHARE *Quality promotion* – wzorzec ten umożliwił zapewnienie w Polsce spójności pomiarowej na poziomie europejskim i światowym, członkostwo w Komitecie Doradczym CCAUV CIPM, udział w porównaniach

kluczowych organizowanych przez CIPM, a następnie zgłoszenie i uznanie w ramach MRA CIPM zadeklarowanych najlepszych możliwości pomiarowych (CMC),

- budowa w 2001 r. wzorca pierwotnego wielkości drgań mechanicznych, u źródła której było doradztwo techniczne zagranicznego eksperta (w ramach pomocy finansowanej z funduszu PHARE) – wzorzec ten umożliwił odtwarzanie jednostek wielkości drgań mechanicznych poprzez wzorcowanie przetworników drgań metodą interferometrii laserowej (metodą pierwotną), zgodnie z normą [32] i w ten sposób zapewnienie spójności pomiarowej na poziomie europejskim i światowym, udział w porównaniach kluczowych organizowanych przez CIPM, a następnie zgłoszenie i uznanie w ramach MRA CIPM zadeklarowanych najlepszych możliwości pomiarowych (CMC),
- aktywny udział GUM w pracach Komitetu Technicznego ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań TC AUV EUROMET (obecnie EURAMET) – w uznaniu naszej działalności na tym forum, pracownik GUM, Pani Maria Szelaż była przez dwie kadencje przewodniczącą TC AUV, a przedstawiciel GUM jest też stałym członkiem pięcioosobowej grupy roboczej ds. opiniowania CMCs na poziomie regionalnym i międzyregionalnym,
- udział w wielu projektach organizowanych przez EUROMET/EURAMET,
- udział w pracach przy tworzeniu, a następnie aktywny udział w działalności Komitetu Doradczego ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań (CCAUV) Międzynarodowej Konferencji Miar (CIPM), uwieńczone w 2004 r. członkostwem GUM w CCAUV,
- udział w porównaniach kluczowych w latach 1998–2020

Akustyka	Drgania mechaniczne
CCAUV.A-K1	CCAUV.V-K2
CCAUV.A-K3	CCAUV.V-K3
CCAUV.A-K5	EUROMET.AUV.V-K1
CCAUV.A-K6	EURAMET.AUV.V-K21
EUROMET.AUV.A-K1	EURAMET.AUV.V-K3
COOMET.AUV.A-K1	EURAMET.AUV.V-K5
COOMET.AUV.A-K3	COOMET.AUV.V-K1
COOMET.AUV.A-K5	AFRIMETS.AUV.V-S3
(w roli pilota porównania)	
AFRIMETS.AUV.A-S1	
AFRIMETS.AUV.A-S2	

- aktywny udział specjalistów GUM w pracach Komitetu Technicznego TC 29 IEC *Electroacoustics* przy opracowywaniu norm międzynarodowych dotyczących wzorców akustycznych i przyrządów do pomiaru dźwięku oraz w pracach Komitetu Technicznego TC 13 OIML *Measuring instruments for acoustics and vibration* przy opracowywaniu zaleceń OIML dotyczących badania i oceny przyrządów pomiarowych w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych,
- w 2006 r. laboratorium przeszło pomyślnie proces akredytacji usług pomiarowych w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych z udziałem ekspertów zagranicznych z NPL (Wlk. Brytania) i PTB (Niemcy),
- w 2009 r. modernizacja wzorca pierwotnego ciśnienia akustycznego, umożliwiająca rozszerzenie dolnej granicy zakresu częstotliwości do 2 Hz oraz wdrożenie wymagań normy IEC 61094-2:2009,
- w 2014 r. modernizacja wzorca pierwotnego wielkości drgań mechanicznych, umożliwiająca rozszerzenie zakresu wzorcowania metodą bezwzględna w kierunku małych częstotliwości,

- w 2014 r. Laboratorium Akustyki i Drgań przeszło pomyślnie proces oceny w ramach projektu 1109 EURAMET dotyczącego ocen wzajemnych (tzw. „peer review”) systemu zarządzania, zgodnie z normą ISO/IEC 17025,
- w 2017 r. działalność Laboratorium została pozytywnie oceniona przez ekspertów zewnętrznych – krajowych i zagranicznych, a ocena była przeprowadzona w ramach prac Komitetu Technicznego ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań, powołanego przez Prezesa GUM,
- w 2017 r. podjęto decyzję o rozpoczęciu budowy w GUM infrastruktury metrologicznej i kompetencji personelu w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych, a zadanie to zostało wpisane do Czteroletniego Strategicznego Planu Działania GUM 2018–2021,
- w 2017 r. utworzono Grupę Roboczą ds. Budowy Infrastruktury Metrologicznej w Dziedzinie Akustyki Podwodnej, zidentyfikowano potrzeby metrologiczne, cywilne i wojskowe w tej dziedzinie, zatrudniono eksperta i opracowano plan budowy infrastruktury metrologicznej w budynku i na terenie Wydziału Zamiejscowego OUM Gdańsk w Gdyni, a w 2018 r. zadanie „Budowa infrastruktury metrologicznej i kompetencji personelu w dziedzinie akustyki podwodnej” zostało wpisane do Czteroletniego Strategicznego Planu Działania GUM 2018–2021,
- w 2017 r. Decyzją Nr 23 i Decyzją Nr 22 Prezesa GUM z 28 kwietnia 2017 r. wzorzec pierwotny ciśnienia akustycznego i wzorzec pierwotny wielkości drgań mechanicznych uznane zostały za wzorce państwowe,
- od 2020 r. w strukturze organizacyjnej GUM znajduje się Samodzielne Laboratorium Akustyki, Ultradźwięków i Drgań, w skład którego wchodzi Wieloosobowe Stanowisko Pracy ds. Ultradźwięków i Akustyki Podwodnej.

## IV Plan rozwoju dziedziny AUV

Plan rozwoju dziedziny AUV opracowano biorąc pod uwagę potrzeby krajowe przedstawione w niniejszym opracowaniu, mapy drogowe na lata 2012–2024, opracowane w Komitecie TC AUV EURAMET [4-8], dokument Strategic Research Agenda for Metrology in Europe [3], wiedzę i doświadczenie personelu, a także kontakty zagraniczne i obserwację kierunków rozwoju innych NMI.

### 1. AKUSTYKA (Dźwięk w powietrzu)

#### 1.1. Kierunki rozwoju w dziedzinie akustyki zgodnie z mapą drogową [4]

Mając na uwadze:

- udoskonalony, ilościowy opis dźwięku dla celów technicznych, prawnych oraz bezpieczeństwa, jak też oceny zgodności z dyrektywami europejskimi,
- rozszerzone metody wzorcowania i pomiarów,
- nową generację aparatów słuchowych i urządzeń audiologicznych, a także metod diagnostycznych w celu poprawienia stanu zdrowia i jakości życia mieszkańców Unii Europejskiej,
- lepszą ocenę, przewidywanie i redukcję hałasu jako najważniejszego niekorzystnego czynnika środowiskowego dla celów zgodności z dyrektywami europejskimi,
- przesłanki dla oceny zagrożenia hałasem na stanowiskach pracy,
- obiektywny psychologiczny opis percepcji dźwięku,

sformułowano dla dziedziny akustyki następujące cele na lata 2012–2024:

- wiarygodne, obiektywne badania audiologiczne umożliwiające udoskonaloną diagnozę stanu słuchu,
- ulepszone i uproszczone metody oceny słuchu oraz kryteria dla jego ochrony i oceny bezpieczeństwa,
- poprawienie jakości i konkurencyjności wyrobów w Unii Europejskiej, w tym czujników do pomiaru hałasu,
- dostępność i wiarygodność pomiarów akustycznych i wzorcowań w celu skutecznego podejmowania decyzji,
- opracowanie metod oceny, przewidywania i redukcji hałasu oraz strategii ochrony przed hałasem.

#### 1.2. Infrastruktura metrologiczna GUM – stan obecny

- Stanowisko do wzorcowania mikrofonów pomiarowych klasy LS metodą wzajemności w zakresach częstotliwości od 2 Hz do 25 kHz (mikrofony klasy LS2) i od 2 Hz do 10 kHz (mikrofony klasy LS1) – wzorzec państwowy jednostki miary ciśnienia akustycznego (wzorzec pierwotny).



- Stanowisko do wzorcowania mikrofonów pomiarowych i kalibratorów akustycznych metodami wtórnymi.
- Stanowisko do wzorcowania zestawów mikrofonowych oraz mierników poziomu dźwięku metodą porównawczą w zakresie małych częstotliwości od 1 Hz do 250 Hz.
- Stanowisko do wzorcowania symulatorów ucha oraz sprzęgaczy akustycznych stosowanych w audiometrii.
- Stanowisko do wzorcowania sprzęgaczy mechanicznych stosowanych w audiometrii.
- Stanowisko do wzorcowania i badania przyrządów do pomiaru dźwięku: mierników poziomu dźwięku, filtrów pasmowych (analizatorów akustycznych) i indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk.
- Stanowisko do wzorcowania urządzeń audiometrycznych: audiometrów, tympanometrów.
- Stanowisko do badania wpływu ciśnienia statycznego na właściwości przyrządów akustycznych. Opisy poszczególnych stanowisk przedstawiono w Załączniku.

### 1.3. Infrastruktura metrologiczna GUM – planowany rozwój

- **Modernizacja i rozbudowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie audiometrii – modernizacja i rozbudowa stanowiska do wzorcowania wzorców stosowanych w audiometrii**

Etap 2 – Modernizacja wyposażenia pomiarowego i modyfikacja metodyki wzorcowania sprzęgaczy mechanicznych (sztucznych mastoidów) stosowanych w audiometrii

Cele do osiągnięcia

- Poprawienie łańcucha spójności pomiarowej w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych w odniesieniu do wzorców audiometrycznych
- Wsparcie polskiego producenta audiometrów w procesie oceny zgodności audiometrów z wymaganiami dyrektywy o wyrobach medycznych
- Zapewnienie wiarygodności i bezpieczeństwa badań audiologicznych przeprowadzanych z zachowaniem spójności pomiarowej
- Poprawienie jakości badań audiologicznych w Polsce poprzez wsparcie instytucji i laboratoriów zajmujących się badaniem i sprawdzaniem urządzeń audiometrycznych oraz ochroną i badaniami słuchu
- Propagowanie wiedzy w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej w audiologii

- **Rozbudowa i modernizacja infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie akustyki w zakresie częstotliwości infradźwiękowych**

Etap 2 – Opracowanie i wdrożenie metodyki wzorcowania mikrofonów (zestawów mikrofonowych) klasy WS2 metodą porównawczą z wykorzystaniem laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych klasy LS1 i/lub LS2 wzorcowanych metodą wzajemności na stanowisku wzorca państwowego

Cele do osiągnięcia

- Wsparcie polskich producentów aparatury akustycznej poprzez zapewnienie spójności pomiarowej w zakresie częstotliwości infradźwiękowych

- Zapewnienie rzetelnych i wiarygodnych pomiarów infradźwięków pochodzących ze środowiska naturalnego lub wynikających z działalności człowieka
  - Wsparcie instytucji badawczo-naukowych prowadzących badania dotyczące hałasu infradźwiękowego, zarówno na stanowiskach pracy, jak i w środowisku naturalnym
- **Budowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w warunkach akustycznego pola swobodnego – budowa komór bezchowych oraz stanowisk pomiarowych do wzorcowań i badań w polu swobodnym w Kampusie Kielce**

Cele do osiągnięcia

- Wsparcie polskich producentów poprzez zapewnienie możliwości współpracy w zakresie badań aparatury akustycznej w polu swobodnym oraz możliwości badania typu mierników poziomu dźwięku w pełnym zakresie, zgodnie z aktualnymi przepisami prawnymi
  - Wsparcie metrologiczne dla instytucji i laboratoriów zajmujących się ochroną środowiska naturalnego i środowiska pracy przed hałasem – zapewnienie w Polsce rzetelności i wiarygodności pomiarów hałasu
  - Udział w projektach badawczo-rozwojowych krajowych i europejskich, związanych z ochroną środowiska naturalnego i środowiska pracy przed hałasem, wymagających wsparcia metrologicznego
- **Budowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w zakresie bardzo dużych wartości ciśnienia akustycznego – budowa stanowiska pomiarowego do wzorcowania mikrofonów w zakresie bardzo dużych wartości ciśnienia akustycznego, badania liniowości mikrofonów i mierników poziomu dźwięku w tym zakresie, a także badania zniekształceń nieliniowych**

Cele do osiągnięcia

- Zapewnienie rzetelności pomiarów w zakresie bardzo dużych wartości ciśnienia akustycznego, związanych głównie z hałasem o charakterze impulsowym, towarzyszącym działalności służb mundurowych oraz wytwarzanym w przemyśle
- Zapewnienie ochrony słuchu pracowników narażonych na hałas impulsowy związany z wystrzałami z broni palnej i eksplozjami materiałów wybuchowych oraz wytwarzany przez źródła w przemyśle
- Zapobieganie uszkodzeniu i utracie słuchu pracowników służb mundurowych i pracowników przemysłu narażonych na hałas impulsowy

- **Modernizacja stanowisk pomiarowych w kierunku możliwości wzorcowania systemów przetworników cyfrowych stosowanych w dziedzinie akustyki**

Systemy przetworników cyfrowych są coraz częściej i powszechniej stosowane do pomiarów w dziedzinie akustyki, ultradźwięków i drgań mechanicznych. Ze względu na brak dostępu do sygnału analogowego w takich systemach, może on być taktowany jedynie jako „czarna skrzynka” z wyjściem w postaci strumienia danych cyfrowych. Projekt ma na celu taką modernizację stosowanych obecnie analogowych systemów pomiarowych, aby możliwe było wzorcowanie przetworników cyfrowych i przyrządów wyposażonych w takie przetworniki metodą porównawczą. Działanie będzie dużym wsparciem dla polskich producentów aparatury akustycznej i do pomiaru drgań i będzie prowadzone we współpracy z tymi producentami.



## 2. DRGANIA MECHANICZNE

### 2.1. Kierunki rozwoju zgodnie z mapą drogową [5]

Mając na uwadze: bezpieczeństwo pracy (wpływ drgań na człowieka), bezpieczeństwo produktu (np. systemy wspomagania kierowcy, crash-testy), systemy nawigacji i spójność pomiarową dla zarządzania jakością w przemyśle sformułowano dla dziedziny drgań mechanicznych następujące cele:

- zapewnienie spójności pomiarowej dla uderzeń o intensywności do  $10^6$  m/s<sup>2</sup>,
- opracowanie metodyki kalibracji przetworników impedancyjnych,
- opracowanie metodyki wielokomponentowej kalibracji przetworników drgań,
- wzorcowania dla bardzo małych lub bardzo dużych częstotliwości,
- czujniki pomiarowe do drgań i uderzeń z cyfrowym interfejsem.

### 2.2. Infrastruktura metrologiczna – stan obecny

- Stanowisko do wzorcowania przetworników drgań mechanicznych i zestawów pomiarowych metodą interferometrii laserowej w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 20 kHz – wzorzec państwowy jednostki miary wielkości drgań mechanicznych (wzorzec pierwotny)
- Stanowisko do wzorcowania przetworników przy pobudzeniu uderowym metodą porównawczą
- Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodami wtórnymi w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz
- Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 200 Hz

Opisy poszczególnych stanowisk przedstawiono w Załączniku.

### 2.3. Infrastruktura metrologiczna – planowany rozwój

#### ➤ **Modernizacja stanowisk pomiarowych w kierunku możliwości wzorcowania systemów przetworników cyfrowych stosowanych w dziedzinie drgań mechanicznych**

Projekt ma na celu taką modernizację stosowanych obecnie analogowych systemów pomiarowych, aby możliwe było wzorcowanie przetworników cyfrowych i przyrządów wyposażonych w takie przetworniki metodą porównawczą. Działanie będzie dużym wsparciem dla polskich producentów aparatury do pomiaru drgań i będzie prowadzone we współpracy z tymi producentami.

#### ➤ **Budowa infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w dziedzinie drgań mechanicznych w zakresie drgań sejsmicznych – budowa stanowiska pomiarowego do wzorcowania przetworników sejsmicznych i geofonów**

Cele do osiągnięcia

- Wsparcie metrologiczne dla przemysłu i instytucji, zajmujących się pomiarami drgań o bardzo małych częstotliwościach – w dziedzinach takich jak górnictwo, budownictwo, transport szynowy, geologia (np. szkody górnicze, wpływ budowy metra na budynki, ruchy sejsmiczne)

- Zapewnienie w Polsce rzetelności i wiarygodności pomiarów drgań w zakresie częstotliwości sejsmicznych

## 3. ULTRADŹWIĘKI

### 3.1. Ultradźwięki w zastosowaniach medycznych

#### Kierunki rozwoju zgodnie z mapą drogową [6]

Mając na uwadze:

- bezpieczne i skuteczne stosowanie medycznych urządzeń ultradźwiękowych, wspieranie pojawiających się innowacyjnych metod diagnostycznych, zastosowania ultradźwięków w terapii i chirurgii,
- zapobieganie błędnym diagnozom,
- potrzebę skutecznego i bezpiecznego stosowania ultradźwiękowych technik terapeutycznych w procesie leczenia,
- dyrektywę o wyrobach medycznych,
- kontrolę efektów termicznych i procesu kawitacji,
- wspieranie zaawansowanych ultradźwiękowych metod podawania leków i nowych pojawiających się metod obrazowania

sformułowano dla dziedziny ultradźwięków w medycynie następujące cele:

- dokładne opisanie właściwości medycznych urządzeń ultradźwiękowych w wodzie dla celów oceny zgodności i rozwoju technicznego tych urządzeń,
- opracowanie metodyki badań i oceny medycznych urządzeń ultradźwiękowych pod kątem określenia ich bezpieczeństwa i charakterystyk użytkowych,
- poprawa oceny ryzyka przeprowadzanej przez użytkowników klinicznych,
- wiarygodna ocena narażenia ludzi (otrzymanej dawki), przeprowadzana in-vivo dla celów kontrolnych,
- opracowanie nowoczesnych metod ultradźwiękowych dla coraz lepszego obrazowania w diagnostyce i terapii.

#### Infrastruktura metrologiczna – stan obecny i plan rozwoju

Potrzeby metrologiczne zgłaszane przez producentów aparatury ultradźwiękowej diagnostycznej i terapeutycznej, użytkowników takiej aparatury, a także przez instytucje prowadzące badania naukowe w tej dziedzinie doprowadziły w 2017 r. do decyzji Prezesa GUM o rozszerzeniu zakresu dotychczasowej działalności Laboratorium Akustyki i Drgań o dziedzinę ultradźwięków w zastosowaniach medycznych.

Obecnie realizowany jest projekt „Budowa infrastruktury metrologicznej i kompetencji personelu w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych”.

Etap 1 – Zakup w NPL (Włk. Brytania) systemu pomiarowego wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej, łącznie z 6-ciotygodniowym szkoleniem pracownika GUM i instalacją w GUM (2020 r.)

Etap 2 – Zakup w NPL (Wlk. Brytania) systemu do wzorcowania wtórnego hydrofonów oraz układu do pomiaru konduktancji promieniowania, łącznie z 6-ciotygodniowym szkoleniem pracownika GUM i instalacją w GUM (2020 r.)

Cele do osiągnięcia

- Zapewnienie w Polsce spójności pomiarowej w dziedzinie ultradźwięków medycznych
- Wsparcie polskich producentów aparatury ultradźwiękowej (m.in.: ECHO SON, Dramiński, OPTEL, SONOMED) poprzez zapewnienie możliwości współpracy oraz możliwości przeprowadzenia badań ultradźwiękowych urządzeń medycznych zgodnie z normami zharmonizowanymi z rozporządzeniem WE [54]
- Wsparcie metrologiczne instytucji i laboratoriów zajmujących się badaniem ultradźwiękowych urządzeń medycznych będących w użytkowaniu – rzetelność i bezpieczeństwo badań i terapii ultradźwiękowej
- Wsparcie instytucji naukowo-badawczych (np. IPPT PAN) prowadzących zaawansowane badania w zakresie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych
- Współpraca z Ministerstwem Zdrowia (Urzędem Rejestracji Wyrobów Medycznych) w zakresie wsparcia metrologicznego użytkowników aparatury ultradźwiękowej diagnostycznej i terapeutycznej
- Udział w projektach badawczych krajowych i zagranicznych

## 3.2. Ultradźwięki w zastosowaniach przemysłowych

**Kierunki rozwoju zgodnie z mapą drogową [7]**

Mapa drogowa formułuje dla ultradźwięków w przemyśle następujące cele:

- wzorcowanie czujników emisji akustycznej stosowanych w przemyśle,
- opracowanie i walidacja metod pomiaru akustycznych właściwości materiałów,
- opracowanie i walidacja czujników oraz metod monitoringu kawitacji i jej powstawania,
- opracowanie norm międzynarodowych w celu ilościowego określenia stopnia kawitacji oraz do oceny skuteczności czyszczenia ultradźwiękowego.

**Infrastruktura metrologiczna – stan obecny i plan rozwoju**

Obecnie w GUM brak jest infrastruktury w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach przemysłowych. Zapotrzebowanie na usługi w tej dziedzinie (np. wzorcowanie przyrządów stosowanych do badań nieniszczących) zgłaszane jest sporadycznie, co może wynikać z małej świadomości użytkowników.

Po zakończeniu projektu „Budowa infrastruktury metrologicznej i kompetencji personelu w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych” przeprowadzona będzie pogłębiona analiza potrzeb w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach przemysłowych i, w zależności od jej wyników, zostanie podjęta decyzja o rezygnacji z tej działalności w GUM lub będzie nakreślona mapa drogowa jej rozwoju oraz zostaną podjęte stosowne decyzje odnośnie sposobu zapewnienia spójności pomiarowej, a także zapewnione odpowiednie środki finansowe w budżecie GUM.

## 4. AKUSTYKA PODWODNA

### Kierunki rozwoju zgodnie z mapą drogową [8]

Mapa drogowa formułuje dla akustyki podwodnej następujące cele:

- Opracowanie i walidacja wzorców pomiarowych powiązanych z wzorcem pierwotnym w celu wsparcia przepisów prawnych związanych z pomiarem hałasu w wodzie
- Opracowanie i walidacja metodyki oceny wpływu hałasu na środowisko morskie
- Opracowanie nowego wzorca pierwotnego, poprawienie dokładności pomiarów i łańcucha wzorcowań
- Udoskonalenie pomiarów akustycznych dla potrzeb oceanografii

### Infrastruktura metrologiczna – stan obecny i plan rozwoju

Dotychczas GUM nie prowadził działalności w dziedzinie akustyki podwodnej. Jednakże z uwagi na rosnące znaczenie marynarki wojennej oraz gospodarki morskiej w strategii państwa polskiego, a także ze względu na dyrektywę morską zobowiązującą państwa do monitoringu hałasu podwodnego, w listopadzie 2017 r. utworzono Grupę Roboczą ds. Budowy Infrastruktury Metrologicznej w Dziedzinie Akustyki Podwodnej, do której zaproszono ekspertów reprezentujących uczelnie, instytuty badawcze, marynarkę wojenną, metrologię wojskową, producentów urządzeń hydroakustycznych. W ramach prac Grupy, liczącej obecnie ponad 25 członków, przeprowadzono następujące działania:

- 1) nawiązano kontakty z Ministerstwem Gospodarki Wodnej i Żeglugi Śródlądowej, Ministerstwem Obrony Narodowej i Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska, a także ze środowiskiem naukowym i przemysłowym Wybrzeża i rozpoznano potrzeby metrologiczne w dziedzinie akustyki podwodnej w Polsce, w tym rzeczywiste zapotrzebowania na wzorcowanie/badanie aparatury pomiarowej,
- 2) podjęto decyzję o utworzeniu Pracowni Akustyki Podwodnej w ramach istniejącego Laboratorium Akustyki i Drgań GUM, zatrudniono w GUM eksperta koordynującego na Wybrzeżu prace związane z tworzeniem Pracowni, podjęto decyzję o lokalizacji Pracowni Akustyki Podwodnej w budynku Okręgowego Urzędu Miar w Gdyni – Witomino,
- 3) opracowano koncepcję systemu metrologicznego w Polsce w dziedzinie akustyki podwodnej, a zadanie dotyczące budowy infrastruktury metrologicznej w tej dziedzinie wpisano do strategii GUM,
- 4) opracowano plan budowy infrastruktury metrologicznej w dziedzinie akustyki podwodnej, umożliwiającej wzorcowanie hydrofonów oraz badanie urządzeń hydroakustycznych w zakresie od 1 Hz do 1 MHz. W skład infrastruktury wchodzi:
  - sprzęgacze akustyczne do wzorcowania:
    - hydrofonów w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 5 Hz za pomocą pobudzenia hydrostatycznego,
    - hydrofonów w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 1 kHz metodą wibrującej kolumny wody,
  - małogabarytowy basen pomiarowy o wymiarach (2 m × 2 m × 3 m) wraz z aparaturą pomiarową i układem pozycjonowania, do wzorcowania hydrofonów/przetworników

hydroakustycznych w zakresie częstotliwości od 5 kHz do 1 MHz, metodą porównawczą i/lub metodą wzajemności,

- wielkogabarytowy basen pomiarowy o wymiarach min. (10 m × 10 m × 15 m) wraz z aparaturą pomiarową i układem pozycjonowania do wzorcowania hydrofonów oraz badania urządzeń hydroakustycznych w zakresie częstotliwości od 1 kHz do 10 kHz, metodą porównawczą i/lub metodą wzajemności,
- specjalistyczna aparatura pomiarowo-badawcza, w tym hydrofony, wzorcowane w renomowanej zagranicznej instytucji metrologicznej, utrzymującej wzorzec pierwotny ciśnienia akustycznego pod wodą – hydrofony będą używane jako hydrofony odniesienia w metodzie porównawczej i/lub będą wykorzystywane do uzupełnienia triady hydrofonów wymaganych w metodzie wzajemności.

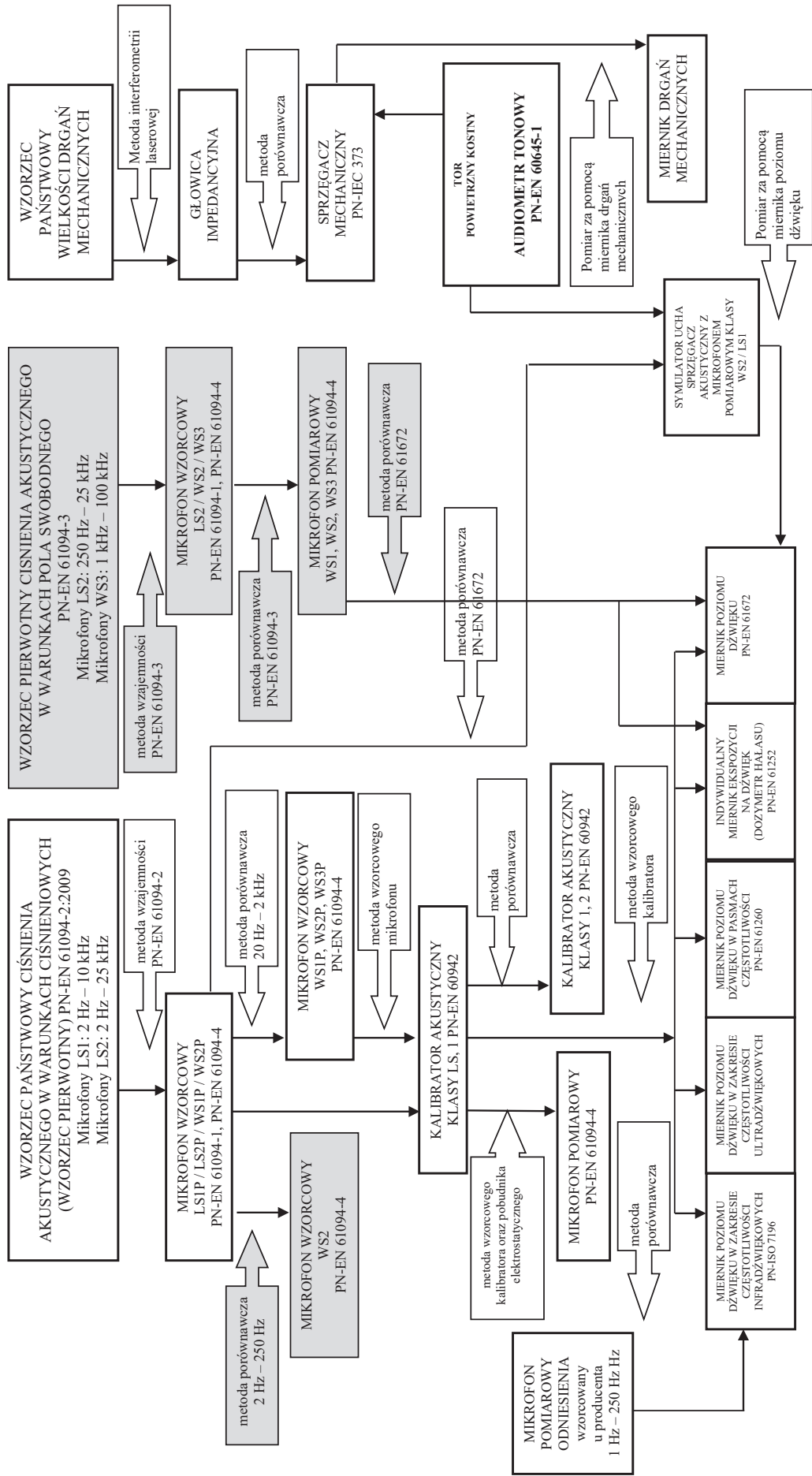
#### Cele do osiągnięcia

- Zapewnienie w Polsce spójności pomiarowej w dziedzinie akustyki podwodnej w zakresie małych, średnich i dużych częstotliwości
- Poprawienie rzetelności i wiarygodności danych uzyskiwanych z monitoringu akustycznego środowiska morskiego
- Poprawienie rzetelności i wiarygodności przetwarzanych danych w systemach bezpieczeństwa morskiego i przechowywanych w cywilnych i wojskowych bazach danych
- Pośredni wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa żołnierzy na morzu oraz poprawienie dobrostanu fauny morskiej
- Rozwój przedsiębiorczości w zakresie produkcji urządzeń hydroakustycznych, wzrost ich konkurencyjności na rynkach zagranicznych
- Rozwój usług związanych z badaniem i ochroną środowiska morskiego

# V GUM w krajowym i międzynarodowym systemie metrologicznym w dziedzinie AUV

## 1. Spójność pomiarowa w Polsce w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych

Obecna infrastruktura pomiarowa oraz personel laboratorium pozwalają na zapewnienie spójności pomiarowej w Polsce zgodnie ze schematami przedstawionymi na rys. 1 i 2. Kolorem szarym wyróżniono te fragmenty łańcucha porównań, które nie są jeszcze możliwe do zrealizowania w GUM.



Rys. 1. Spójność pomiarowa w dziedzinie akustyki





## 2. Klasyfikacja czynności metrologicznych w dziedzinie AUV

W Tabeli 1 przedstawiono możliwości GUM w dziedzinie AUV na tle Klasyfikacji czynności metrologicznych AUV, opracowanej w Komitecie Doradczym CCAUV [9].

**Tabela 1. Klasyfikacja czynności metrologicznych w dziedzinie AUV – możliwości GUM**

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona	GUM
<b>DŹWIĘK W POWIETRZU</b>				
<b>AUV</b>	<b>1</b>	<b>Mikrofon pomiarowy</b>		
<b>AUV</b>	<b>1.1</b>	<b>Mikrofon pomiarowy – poziom skuteczności ciśnieniowej</b>		
AUV	1.1.1	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – moduł	TAK
AUV	1.1.1.1	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – moduł, metoda wzajemności	TAK
AUV	1.1.1.2	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – moduł, metoda porównawcza	TAK
AUV	1.1.1.3	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – moduł, metoda wzorcowego kalibratora	TAK
AUV	1.1.2	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – faza	TAK
AUV	1.1.2.1	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – faza, metoda wzajemności	TAK
AUV	1.1.2.2	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności ciśnieniowej – faza, metoda porównawcza	TAK
<b>AUV</b>	<b>1.2</b>	<b>Mikrofon pomiarowy – poziom skuteczności w polu swobodnym</b>		
AUV	1.2.1	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności w polu swobodnym – moduł	
AUV	1.2.2	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności w polu swobodnym – faza	
AUV	1.2.3	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności w polu swobodnym – kierunkowość	
<b>AUV</b>	<b>1.3</b>	<b>Mikrofon pomiarowy – poziom skuteczności w polu rozproszonym</b>		
AUV	1.3.1	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności w polu rozproszonym – moduł	
AUV	1.3.2	mikrofon pomiarowy	poziom skuteczności w polu rozproszonym – faza	
<b>AUV</b>	<b>1.4</b>	<b>Mikrofon pomiarowy – znormalizowana częstotliwościowo odpowiedź przy pobudzeniu pobudnikiem elektrostatycznym</b>		
AUV	1.4.1	mikrofon pomiarowy	odpowiedź częstotliwościowa – moduł	TAK
<b>AUV</b>	<b>2</b>	<b>Kalibrator akustyczny</b>		
<b>AUV</b>	<b>2.1</b>	<b>Kalibrator akustyczny jednoczęstotliwościowy</b>		
AUV	2.1.1	kalibrator akustyczny jednoczęstotliwościowy	poziom ciśnienia akustycznego	TAK
AUV	2.1.1.1	kalibrator akustyczny jednoczęstotliwościowy	poziom ciśnienia akustycznego, metoda wzorcowego mikrofonu	TAK
AUV	2.1.1.2	kalibrator akustyczny jednoczęstotliwościowy	poziom ciśnienia akustycznego, metoda porównawcza	TAK
<b>AUV</b>	<b>2.2</b>	<b>Kalibrator akustyczny wieloczęstotliwościowy</b>		

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona	GUM
AUV	2.2.1	kalibrator akustyczny wieloczęstotliwościowy	poziom ciśnienia akustycznego, metoda wzorcowego mikrofonu	TAK
<b>AUV</b>	<b>3</b>	<b>Przyrząd do pomiaru dźwięku</b>		
<b>AUV</b>	<b>3.1</b>	<b>Przyrząd do pomiaru dźwięku – odpowiedź</b>		
AUV	3.1.1	przyrząd do pomiaru poziomu dźwięku	poziom odpowiedzi na ciśnienie dźwięku	TAK
AUV	3.1.2	przyrząd do pomiaru poziomu dźwięku	poziom odpowiedzi w polu swobodnym	
AUV	3.1.2.1	przyrząd do pomiaru poziomu dźwięku	poziom odpowiedzi w polu swobodnym w zakresie częstotliwości słyszalnych	
AUV	3.1.2.2	przyrząd do pomiaru poziomu dźwięku	poziom odpowiedzi w polu swobodnym w zakresie częstotliwości infradźwiękowych	TAK
AUV	3.1.2.3	przyrząd do pomiaru poziomu dźwięku	poziom odpowiedzi w polu swobodnym w zakresie częstotliwości ultradźwiękowych	
AUV	3.1.3	przyrząd do pomiaru poziomu dźwięku	poziom odpowiedzi w polu rozproszonym	
AUV	3.1.4	przyrząd do pomiaru poziomu natężenia dźwięku	poziom odpowiedzi na natężenie dźwięku	
<b>AUV</b>	<b>4</b>	<b>Symulatory ucha</b>		
<b>AUV</b>	<b>4.1</b>	<b>Sprzęgacz odniesienia lub sztuczne ucho</b>		
AUV	4.1.1	układ pomiarowy ze sprzęgaczem odniesienia lub sztucznym uchem	poziom odpowiedzi układu	TAK
AUV	4.1.2	sztuczne ucho	impedancja akustyczna	TAK
<b>AUV</b>	<b>4.2</b>	<b>Sprzęgacz mechaniczny</b>		
AUV	4.2.1	sprzęgacz mechaniczny	poziom skuteczności przy pobudzeniu siłą dynamiczną	TAK
AUV	4.2.2	sprzęgacz mechaniczny	poziom impedancji mechanicznej	TAK
AUV	4.2.2.1	sprzęgacz mechaniczny	poziom impedancji mechanicznej – moduł	TAK
AUV	4.2.2.2	sprzęgacz mechaniczny	poziom impedancji mechanicznej – faza	TAK
<b>AUV</b>	<b>4.3</b>	<b>Przetwornik siły głowicy impedancyjnej</b>		
AUV	4.3.1	przetwornik siły głowicy impedancyjnej	czułość ładunkowa – moduł	TAK
AUV	4.3.2	przetwornik siły głowicy impedancyjnej	czułość ładunkowa – przesunięcie fazowe	TAK
<b>AUV</b>	<b>4.4</b>	<b>Układ pomiarowy z przetwornikiem siły głowicy impedancyjnej</b>		
AUV	4.4.1	układ pomiarowy z przetwornikiem siły głowicy impedancyjnej	czułość napięciowa – moduł	TAK
AUV	4.4.2	układ pomiarowy z przetwornikiem siły głowicy impedancyjnej	czułość napięciowa – przesunięcie fazowe	TAK
<b>AUV</b>	<b>5</b>	<b>Wzorcowe źródło dźwięku</b>		
<b>AUV</b>	<b>5.1</b>	<b>Wzorcowe źródło dźwięku – sygnał wyjściowy</b>		
AUV	5.1.1	wzorcowe źródło dźwięku	sygnał wyjściowy – poziom mocy akustycznej	
AUV	5.1.2	wzorcowe źródło dźwięku	sygnał wyjściowy – kierunkowość	
<b>AUV</b>	<b>6</b>	<b>Audiometr</b>		
<b>AUV</b>	<b>6.1</b>	<b>Audiometr – odpowiedź</b>		

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona	GUM
AUV	6.1.1	audiometr	poziom odpowiedzi dla przewodnictwa powietrznego	TAK
AUV	6.1.2	audiometr	poziom odpowiedzi dla przewodnictwa kostnego	TAK
<b>DŹWIĘK W WODZIE</b>				
<b>AUV</b>	<b>11</b>	<b>Hydrofony (ultradźwięki w zastosowaniach medycznych)</b>		
AUV	11.1	Hydrofon	skuteczność w polu swobodnym	w budowie
AUV	11.1.1	Hydrofon	skuteczność w polu swobodnym – moduł	
AUV	11.1.2	Hydrofon	skuteczność w polu swobodnym – faza	
AUV	11.2	Hydrofon	skuteczność ciśnieniowa	
AUV	11.2.1	Hydrofon	skuteczność ciśnieniowa – moduł	
AUV	11.2.2	Hydrofon	skuteczność ciśnieniowa – faza	
<b>AUV</b>	<b>12</b>	<b>Hydrofony (akustyka podwodna)</b>		
AUV	12.1	Hydrofon	skuteczność w polu swobodnym	
AUV	12.1.1	Hydrofon	skuteczność w polu swobodnym – moduł	
AUV	12.1.2	Hydrofon	skuteczność w polu swobodnym – faza	
AUV	12.2	Hydrofon	skuteczność ciśnieniowa	
AUV	12.2.1	Hydrofon	skuteczność ciśnieniowa – moduł	
AUV	12.2.2	Hydrofon	skuteczność ciśnieniowa – faza	
<b>AUV</b>	<b>13</b>	<b>Przetwornik ultradźwiękowy z generatorem</b>		
AUV	13.1	Przetwornik ultradźwiękowy z generatorem	wyjście	w budowie
AUV	13.1.1	Przetwornik ultradźwiękowy z generatorem	moc ultradźwiękowa	
AUV	13.1.2	Przetwornik ultradźwiękowy z generatorem	kierunkowość	
AUV	13.1.3	Przetwornik ultradźwiękowy z generatorem	ciśnienie ultradźwiękowe	
<b>AUV</b>	<b>14</b>	<b>Przetwornik ultradźwiękowy</b>		
AUV	14.1	Przetwornik ultradźwiękowy	konduktancja promieniowania elektroakustycznego	w budowie
AUV	14.1.1	Przetwornik ultradźwiękowy	kierunkowość	
AUV	14.1.2	Przetwornik ultradźwiękowy	moc ultradźwiękowa	
<b>DRGANIA MECHANICZNE</b>				
<b>AUV</b>	<b>21</b>	<b>Drgania mechaniczne prostoliniowe</b>		
<b>AUV</b>	<b>21.1</b>	<b>Przyrząd do pomiaru przyspieszenia (prędkości, przemieszczenia) drgań mechanicznych</b>		
AUV	21.1.1	przyrząd do pomiaru przyspieszenia	odpowiedź częstotliwościowa	TAK
AUV	21.1.1.1	przyrząd do pomiaru przyspieszenia	odpowiedź częstotliwościowa – moduł	TAK
AUV	21.1.1.2	przyrząd do pomiaru przyspieszenia	odpowiedź częstotliwościowa – faza	TAK
AUV	21.1.2	przyrząd do pomiaru przyspieszenia	odpowiedź na udar	TAK
AUV	21.1.2.1	przyrząd do pomiaru przyspieszenia	odpowiedź na udar – moduł	TAK

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona	GUM
<b>AUV</b>	<b>21.2</b>	<b>Kalibrator/wzbudnik przyspieszenia drgań mechanicznych</b>		
AUV	21.2.1	kalibrator/wzbudnik drgań mechanicznych	sygnał wyjściowy: przyspieszenie drgań	TAK
AUV	21.2.1.1	kalibrator/wzbudnik drgań mechanicznych	sygnał wyjściowy: przyspieszenie drgań – moduł	TAK
AUV	21.2.2	kalibrator/wzbudnik drgań mechanicznych	sygnał wyjściowy: przyspieszenie udaru	
AUV	21.2.2.1	kalibrator/wzbudnik drgań mechanicznych	sygnał wyjściowy: przyspieszenie udaru – moduł	
<b>AUV</b>	<b>21.3</b>	<b>Zestaw do pomiaru przyspieszenia drgań mechanicznych / przetwornik przyspieszenia drgań mechanicznych</b>		
AUV	21.3.1	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa	TAK
AUV	21.3.1.1	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa – moduł	TAK
AUV	21.3.1.1.1	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa – moduł, metoda bezwzględna	TAK
AUV	21.3.1.1.2	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa – moduł, metoda porównawcza	TAK
AUV	21.3.1.2	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa – faza	TAK
AUV	21.3.1.2.1	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa – faza, metoda bezwzględna	TAK
AUV	21.3.1.1.2	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa – faza, metoda porównawcza	
AUV	21.3.2	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa przy udarze	TAK
AUV	21.3.2.1	przetwornik przyspieszenia	czułość ładunkowa przy udarze – moduł	TAK
AUV	21.3.3	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa	TAK
AUV	21.3.3.1	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa – moduł	TAK
AUV	21.3.3.1.1	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa – moduł, metoda bezwzględna	TAK
AUV	21.3.3.1.2	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa – moduł, metoda porównawcza	TAK
AUV	21.3.3.2	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa – faza	TAK
AUV	21.3.3.2.1	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa – faza, metoda bezwzględna	TAK
AUV	21.3.3.2.2	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa – faza, metoda porównawcza	
AUV	21.3.4	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa przy udarze	TAK
AUV	21.3.4.1	zestaw do pomiaru przyspieszenia	czułość napięciowa przy udarze – moduł	TAK
<b>AUV</b>	<b>22</b>	<b>Drgania mechaniczne kątowe (skrętne)</b>		
<b>AUV</b>	<b>22.1</b>	<b>Przyrząd do pomiaru przyspieszenia kąowego</b>		
AUV	22.1.1	przyrząd do pomiaru przyspieszenia kąowego	odpowiedź na przyspieszenie kąowe	
AUV	22.1.1.1	przyrząd do pomiaru przyspieszenia kąowego	odpowiedź na przyspieszenie kąowe – moduł	
AUV	22.1.2	przyrząd do pomiaru przyspieszenia kąowego	odpowiedź na udar	
AUV	22.1.2.1	przyrząd do pomiaru przyspieszenia kąowego	odpowiedź na udar – moduł	

Kod literowy	Nr czynności	Przyrząd lub obiekt	Wielkość mierzona	GUM
AUV	22.2	<b>Kalibrator/wzbudnik przyspieszenia kąowego</b>		
AUV	22.2.1	kalibrator/wzbudnik przyspieszenia kąowego	sygnał wyjściowy: przyspieszenie kąowe	
AUV	22.2.1.1	kalibrator/wzbudnik przyspieszenia kąowego	sygnał wyjściowy: przyspieszenie kąowe – moduł	
AUV	22.3	<b>Zestaw do pomiaru przyspieszenia kąowego / Przetwornik przyspieszenia kąowego</b>		
AUV	22.3.1	przetwornik przyspieszenia kąowego	czułość ładunkowa	
AUV	22.3.1.1	przetwornik przyspieszenia kąowego	czułość ładunkowa – moduł	
AUV	22.3.1.2	przetwornik przyspieszenia kąowego	czułość ładunkowa – faza	
AUV	22.3.2	przetwornik przyspieszenia kąowego	czułość ładunkowa przy udarze	
AUV	22.3.3.	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość napięciowa	
AUV	22.3.3.1	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość napięciowa – moduł	
AUV	22.3.3.2	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość napięciowa – faza	
AUV	22.3.4	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość napięciowa przy udarze	
AUV	22.3.5	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość prądowa	
AUV	22.3.5.1	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość prądowa – moduł	
AUV	22.3.5.2	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość prądowa – faza	
AUV	22.3.6	zestaw do pomiaru przyspieszania kąowego	czułość prądowa przy udarze	
AUV	23	<b>Siła dynamiczna</b>		
AUV	30	<b>Przyrząd i urządzenia pomocnicze w dziedzinie AUV</b>		
AUV	30.1	<b>Przyrząd do kondycjonowania sygnału drgań mechanicznych</b>		<b>TAK</b>
AUV	30.1.1	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość ładunkowa	TAK
AUV	30.1.1.1	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość ładunkowa – moduł	TAK
AUV	30.1.1.2	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość ładunkowa – faza	TAK
AUV	30.1.2	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość napięciowa	TAK
AUV	30.1.2.1	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość napięciowa – moduł	TAK
AUV	30.1.2.2	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość napięciowa – faza	TAK
AUV	30.1.3	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość prądowa	TAK
AUV	30.1.3.1	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość prądowa – moduł	TAK
AUV	30.1.3.2	Przyrząd do kondycjonowania sygnału	czułość prądowa – faza	TAK

### 3. Aktywność GUM w dziedzinie AUV na tle innych europejskich NMI

Możliwości oferowane przez GUM i inne europejskie NMI prowadzące działalność w dziedzinie AUV, opracowane na podstawie informacji dostępnych na stronach internetowych europejskich NMI, stronie internetowej BIPM w odniesieniu do CMC poszczególnych NMI oraz na stronie WELMEC w odniesieniu do informacji dotyczących przyrządów objętych prawną kontrolą metrologiczną w poszczególnych krajach, przedstawiono w Tabeli 2.

Tabela 2. Możliwości pomiarowe GUM i europejskich NMI w dziedzinie AUV

Przyrząd / metoda pomiarowa	Nazwa europejskiej instytucji metrologicznej NMI																		
	GUM Polska	BEV Austria	BIM Bułgaria	CMI Czechy	CEM Hiszpania	DFM/ BKSVDPLA Dania	EIM Grecja	INM Rumunia	INRIM Włochy	IPQ Portugalia	LNE Francja	METAS Szwajcaria	MIKES Finlandia	NPL, Wk. Brytania	PTB Niemcy	SMU Słowacja	SP Szwecja	UME Turcja	VNIIFTRI /VNIM Rosja
Mikrofony pomiarowe / metoda wzajemności w warunkach ciśnieniowych	X	X		X	X <sup>1</sup>	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X <sup>1</sup>	X	X
Mikrofony pomiarowe / metoda porównawcza w warunkach ciśnieniowych	X		X					X	X		X			X	X	X <sup>2,3</sup>			X
Mikrofony pomiarowe / metoda wzorcowego kalibratora i pobudnika elektrostatycznego	X	X		X <sup>2,3</sup>			X <sup>2,3</sup>				X			X	X			X	
Mikrofony pomiarowe / metoda wzajemności w polu swobodnym						X					X			X	X				
Mikrofony pomiarowe / metoda porównawcza w polu swobodnym		X	X			X			X		X	X		X	X			X	X
Kalibratory akustyczne	X	X	X	X	X <sup>2,3</sup>	X	X	X			X	X <sup>2,3</sup>	X	X	X	X	X	X <sup>2,3</sup>	X
Symulatory ucha i sprzęgacze akustyczne	X					X	X					X		X	X	X	X	X	X
Sprzęgacze mechaniczne	X											X		X	X	X			
Mierniki poziomu dźwięku / wzorcowanie w polu swobodnym		X <sup>2,3</sup>	X						X		X <sup>2,3</sup>	X <sup>2,3</sup>		X	X <sup>3</sup>			X <sup>2,3</sup>	X
Mierniki poziomu dźwięku / wzorcowanie oraz badanie metodami elektrycznymi	X <sup>3</sup>	X <sup>2,3</sup>	X	X <sup>2,3</sup>	X <sup>2,3</sup>		X	X <sup>2,3</sup>	X		X <sup>2,3</sup>	X <sup>2,3</sup>			X <sup>3</sup>	X <sup>2,3</sup>	X	X <sup>2,3</sup>	X
Filtry pasmowe	X			X <sup>2,3</sup>			X <sup>2,3</sup>				X	X <sup>2,3</sup>				X	X	X	
Indywidualne mierniki ekspozycji na dźwięk	X						X <sup>2,3</sup>				X					X	X	X	
Audiometry	X						X <sup>2,3</sup>									X		X	X
Przetworniki drgań prostoliniowych	X	X	X	X	X	X			X	X	X	X	X		X	X	X	X	X
Przetworniki uderów	X		X												X				

Przyrząd / metoda pomiarowa	Nazwa europejskiej instytucji metrologicznej NMI																		
	GUM Polska	BEV Austria	BIM Bułgaria	CMI Czechy	CEM Hiszpania	DEM/ DKSV-DPLA Dania	EIM Grecja	INM Rumunia	INRIM Włochy	IPQ Portugalia	LNE Francja	METAS Szwajcaria	MIKES Finlandia	NPL, WIK, Brytania	PTB Niemcy	SMU Słowacja	SP Szwecja	UME Turcja	VNIIFTRI /NIM Rosja
Zestawy do pomiaru drgań prostoliniowych	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X		X		X		X	X	X
Zestawy do pomiaru uderów	X														X				
Mierniki drgań prostoliniowych	X	X	X		X			X							X				X
Mierniki uderów	X		X												X				
Kalibratory drgań prostoliniowych	X	X	X		X				X				X		X		X		
Przetworniki drgań kątowych															X				
Zestawy do pomiaru drgań kątowych															X				
Kalibratory drgań kątowych															X				
Hydrofony (ultradźwięki w medycynie) / metoda porównawcza (1 MHz – 20 MHz)															X				
Przetworniki ultradźwiękowe – waga mocy promieniowania / wzorzec pierwotny																			
Przetworniki ultradźwiękowe – waga mocy promieniowania / metoda porównawcza																			
Przetworniki ultradźwiękowe – waga mocy promieniowania / metoda porównawcza																			
Hydrofony (akustyka podwodna) / metoda wzajemności w polu swobodnym (1 kHz – 500 kHz)																			
Hydrofony (akustyka podwodna) / metoda porównawcza w polu swobodnym (1 kHz – 1 MHz)																			
Hydrofony (akustyka podwodna) / metodą porównawczą w warunkach ciśnieniowych (25 Hz – 400 kHz)																			

<sup>1)</sup> brak informacji o innych metodach wzorcowania mikrofonów, <sup>2)</sup> legalizacja, <sup>3)</sup> badanie typu.



Poza wymienionymi w tabeli usługami wzorcowania, europejskie NMI zajmują się również:

- wzorcowaniem przyrządów do pomiaru natężenia dźwięku (SP),
- wzorcowaniem wzorcowych źródeł dźwięku, generatorów szumu, rejestratorów poziomu (SP),
- badaniem aparatów słuchowych (METAS, PTB),
- badaniem dźwiękowych urządzeń ostrzegawczych i syren (METAS),
- badaniem ochronników słuchu, słuchawek, symulatorów torsu i głowy, zabawek akustycznych (PTB),
- wyznaczaniem danych odniesienia dla charakterystyk słuchu ludzkiego (PTB),
- badaniem stukaczy do pomiarów izolacyjności stropów (PTB, SP),
- badaniem i oceną komór bezechowych, pogłosowych (PTB),
- badaniem właściwości akustycznych materiałów: tłumienności, właściwości absorpcyjnych, prędkości rozchodzenia się dźwięku (PTB, INRIM, NPL) – działalność ta dotyczy m.in. badania materiałów dźwiękoizolacyjnych stosowanych w budownictwie oraz przy konstruowaniu przegród dźwiękoizolacyjnych, ustrojów dźwiękochłonnych, wkładek przeciwhałasowych, materiałów stosowanych w akustyce podwodnej, materiałów imitujących tkankę ludzką, stosowanych w dziedzinie ultradźwięków,
- badaniem i wzorcowaniem przetworników drgań o wielu stopniach swobody,
- projektowaniem urządzeń wykorzystywanych na stanowiskach pomiarowych o wysokiej jakości metrologicznej (wraz z uzyskiwaniem patentów, np. dla ultraprecyzyjnego łożyska powietrznego) (PTB),
- modelowaniem i badaniem nowych czujników i przyrządów pomiarowych w tym tzw. przyrządów wirtualnych (PTB),
- badaniem właściwości wibroizolacyjnych materiałów (PTB).

## VI Wykaz dokumentów związanych z dziedziną AUV

1. Strategy 2019 to 2029 Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound, and Vibration(CCAUV), <https://www.bipm.org/utills/en/pdf/CCAUV-strategy-document.pdf>.
2. EURAMET 2020 Strategy, Version 1.1 (05/2015), [https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003\\_SRA\\_web.pdf](https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003_SRA_web.pdf).
3. Strategic Research Agenda for Metrology in Europe, Version 1.0 (03/2016), [https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003\\_SRA\\_web.pdf](https://www.euramet.org/Media/news/G-GNP-STR-003_SRA_web.pdf).
4. EURAMET TC-AUV Roadmap for sound in air: Development of Acoustical Measurement Technology to Sustain and Improve Quality of Life in the 21st Century: Core Metrology Requirements.
5. EURAMET TC-AUV Roadmap for vibration: Traceable measurements of sinusoidal and shock acceleration Triggers and Targets.
6. EURAMET TC-AUV Roadmap for medical ultrasound: Metrology for medical applications of ultrasound to support improvement in healthcare of EU citizens.
7. EURAMET TC-AUV Roadmap for industrial ultrasound: Metrology for industrial applications of ultrasound to support sustainability and competitiveness of the EU.
8. EURAMET TC-AUV Roadmap for underwater acoustics: Underwater acoustical metrology to support marine technology and sustain the marine environment.
9. Classification of services in Acoustics, Ultrasound and Vibration (October 2002, Last update: 2018), [https://www.bipm.org/utills/common/pdf/KCDB\\_2.0/CMC\\_services/AUV\\_services.pdf](https://www.bipm.org/utills/common/pdf/KCDB_2.0/CMC_services/AUV_services.pdf).
10. PN-EN 61094-1:2003 Elektroakustyka – Mikrofony pomiarowe – Część 1: Wymagania dla laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych.
11. PN-EN 61094-2:2010 Elektroakustyka – Mikrofony pomiarowe – Część 2: Metoda podstawowa wzorcowania ciśnieniowego laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych w oparciu o zasadę wzajemności.
12. PN-EN 61094-4:2000 Elektroakustyka – Mikrofony pomiarowe – Wymagania dla roboczych mikrofonów wzorcowych.
13. PN-EN 61094-5:2016 Elektroakustyka – Mikrofony pomiarowe – Część 5: Wzorcowanie ciśnieniowe roboczych mikrofonów wzorcowych metodami porównawczymi.
14. PN-EN 61094-6:2005 Elektroakustyka – Mikrofony pomiarowe – Część 6: Pobudniki elektrostatyczne do wyznaczania charakterystyki częstotliwościowej.
15. PN-EN IEC 60942:2018 Elektroakustyka – Kalibratory akustyczne.
16. PN-EN 60318-1:2010 Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 1: Symulator ucha przeznaczony do pomiaru słuchawek nausznych i wokółusznych.
17. PN-EN 60318-3:2015 Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 3: Sprzęgacz akustyczny przeznaczony do wzorcowania słuchawek nausznych stosowanych w audiometrii.

18. PN-EN 60318-5:2009 Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 5: Sprzęgacz 2 cm<sup>3</sup> do pomiaru aparatów słuchowych i słuchawek sprzężonych z uchem za pomocą wkładek dousznych.
19. PN-EN 60318-6:2009 Elektroakustyka – Symulatory głowy i ucha ludzkiego – Część 6: Sprzęgacz mechaniczny do pomiaru słuchawek kostnych.
20. PN-EN 61672-1:2005 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania.
21. PN-EN 61672-2:2005 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 2: Badania typu.
22. PN-EN 61672-3:2005 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 3: Badania okresowe.
23. PN-EN 61672-1:2014 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 1: Wymagania.
24. PN-EN 61672-2:2014 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 2: Badania typu.
25. PN-EN 61672-3:2014 Elektroakustyka – Mierniki poziomu dźwięku – Część 3: Badania okresowe.
26. PN-EN 61260-1:2015 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy - Część 1: Wymagania.
27. PN-EN 61260-2:2016 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy - Część 2: Badania typu.
28. PN-EN 61260-3:2016 Elektroakustyka – Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy - Część 2: Badania okresowe.
29. PN-EN 61252:2000 Elektroakustyka – Wymagania dotyczące indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk.
30. PN-EN 60645-1:2017 Elektroakustyka – Urządzenia audiometryczne – Część 1: Urządzenia do audiometrii tonowej i audiometrii słownej.
31. PN-EN 60645-5:2005 Elektroakustyka – Urządzenia audiometryczne – Część 5: Przyrządy do pomiaru impedancji lub admitancji akustycznej ucha .
32. ISO 16063-11:1999 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 11: Primary vibration calibration by laser interferometry.
33. ISO 16063-13:2001 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 13: Primary shock calibration using laser interferometry.
34. ISO 16063-21:2003 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer.
35. ISO 16063-22:2005 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 22: Shock calibration by comparison to a reference transducer.
36. ISO 16063-41:2011 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 41: Calibration of laser vibrometers.
37. ISO 16063-44:2018 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 44: Calibration of field vibration calibrators.
38. PN-EN ISO 8041-1:2017 Drgania mechaniczne działające na człowieka – Mierniki – Część 1: Mierniki drgań do zastosowań ogólnych.
39. ISO/DIS 8041-2 Human response to vibration – Measuring instrumentation – Part 2: Personal vibration exposure meters.
40. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 28 maja 2007 r. w sprawie wymagań, którym powinny odpowiadać mierniki poziomu dźwięku, oraz szczegółowego zakresu badań

i sprawdzeń wykonywanych podczas prawnej kontroli metrologicznej tych przyrządów pomiarowych (Dz. U. z 2007 r. Nr 105, poz. 717).

41. Ustawa z dnia 11 maja 2001 r. – Prawo o miarach (Dz. U. z 2013 r. poz. 1069, z późniejszymi zmianami).
42. Ustawa z dnia 13 kwietnia 2016 r. o systemach oceny zgodności i nadzoru rynku (Dz. U. z 2016 r. poz. 542).
43. Dyrektywa 2002/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r., odnosząca się do oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku.
44. Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (Dz. U. z 2001 r. Nr 62, poz. 627).
45. Ustawa z dnia 10 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz. U. Nr 77, poz. 335 z późniejszymi zmianami).
46. Dyrektywa 2005/88/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 14 grudnia 2005 r. zmieniająca dyrektywę 2000/14/WE w sprawie zbliżenia ustawodawstw Państw Członkowskich odnoszących się do emisji hałasu do środowiska przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń.
47. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla urządzeń używanych na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska (Dz. U. z 2005 r. Nr 263, poz. 2202).
48. Dyrektywa 2006/42/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 17 maja 2006 r. w sprawie maszyn, zmieniająca dyrektywę 95/16/WE.
49. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 października 2008 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla maszyn (Dz. U. z 2008 r. Nr 199, poz. 1228).
50. Dyrektywa 2003/10/WE PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY z dnia 6 lutego 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (hałasem).
51. Dyrektywa 2002/44/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 czerwca 2002 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (wibracji).
52. Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne (Dz. U. z 2005 r. Nr 157, poz. 1318).
53. Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych stężeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy (Dz. U. z 2018 r. poz. 1286 z późniejszymi zmianami).
54. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2016/425 z dnia 9 marca 2016 r. w sprawie środków ochrony indywidualnej oraz uchylenia dyrektywy Rady 89/686/EWG .
55. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 21 grudnia 2005 r. w sprawie zasadniczych wymagań dla środków ochrony indywidualnej (Dz. U. z 2005 r. Nr 259, poz. 2173).
56. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) Nr 168/2013 z dnia 15 stycznia 2013 r. w sprawie homologacji i nadzoru rynku pojazdów dwu- lub trzykołowych oraz czterokołowców.

57. Dyrektywa 2007/46/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 5 września 2007 r. ustanawiająca ramy dla homologacji pojazdów silnikowych i ich przyczep oraz układów, części i oddzielnych zespołów technicznych przeznaczonych do tych pojazdów.
58. Dyrektywa 2003/37/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 26 maja 2003 r. w sprawie homologacji typu ciągników rolniczych lub leśnych, ich przyczep i wymiennych holowanych maszyn, łącznie z ich układami, częściami i oddzielnymi zespołami technicznymi oraz uchylająca dyrektywę 74/150/EWG.
59. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) Nr 216/2008 z dnia 20 lutego 2008 r. w sprawie wspólnych zasad w zakresie lotnictwa cywilnego i utworzenia Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa Lotniczego oraz uchylające dyrektywę Rady 91/670/EWG, rozporządzenie (WE) Nr 1592/2002 i dyrektywę 2004/36/WE.
60. Dyrektywa 86/594/EWG z dnia 1 grudnia 1986 r. w sprawie hałasu emitowanego przez urządzenia gospodarstwa domowego).
61. Dyrektywą 2005/32/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 6 lipca 2005 r. ustanawiającą ogólne zasady ustalania wymogów dotyczących ekoprojektu dla produktów wykorzystujących energię.
62. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2009/48/WE z dnia 18 czerwca 2009 r. w sprawie bezpieczeństwa zabawek.
63. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/745 z dnia 5 kwietnia 2017 r. w sprawie wyrobów medycznych (obowiązuje od 26 maja 2020 r.
64. Dyrektywa Rady 93/42/EWG z dnia 14 czerwca 1993 r. dotycząca wyrobów medycznych (do 26 maja 2020 r.).
65. Ustawa z dnia 20 maja 2010 r. o wyrobach medycznych (Dz. U. z 2010 r. Nr 107, poz. 679).
66. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 r. ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej).
67. Dyrektywa Rady 92/43/EWG z dnia 21 maja 1992 r. w sprawie ochrony siedlisk przyrodniczych oraz dzikiej fauny i flory.

## VII Wykaz publikacji pracowników GUM w dziedzinie AUV w latach 2006–2020

1. Mlynska A., Dobrowolska D., A measurement study of IEC 60318-1 ear simulators being in use in Poland and the influence of their acoustic parameters on hearing tests and assessment, *Bezpieczeństwo Pracy*, 5, 24-27, 2019 (in Polish).
2. Listewnik K., A design of an acoustic coupler for calibration of hydrophones at low frequencies, *Vibrations in Physical Systems* 2019, 30, 2019123.
3. Kolasa J., Siejda Z., The methodology and measurement setup for calibration of transducers used for tests and assessment of mechanical shocks, *Proc. of 18th International Conference on Noise Control*, Janów Podlaski 2019 (in Polish).
4. Mlynska A., Dobrowolska D., Acoustic Parameters of IEC 60318–1 Ear Simulators: A Comparison of Measurement Methods, *Joint Conference – Acoustics*, Ustka, 11–14 September, 2018, DOI: 10.1109/ACOUSTICS.2018.8502398.
5. Listewnik K., Dobrowolska D., Development of metrological infrastructure in the field of underwater acoustics in Poland, *2018 Joint Conference – Acoustics*, Ustka, 11–14 September, 2018. DOI: 10.1109/ACOUSTICS.2018.8502435.
6. Dobrowolska D., Kolasa J., Activities of the Central Office of Measures – National Metrology Institute in Poland, in the field of acoustics and vibrations against the background of social and economic needs of Poland, *Proc. of 13th Scientific and Technical Conference on Problems and Progress in Metrology*, Szczyrk 2018 (in Polish).
7. Siejda Z., Capabilities of the Central Office of Measures – National Metrology Institute in Poland, in the scope of calibration of apparatus for measuring mechanical impacts, *Proc. of 46th Winter School on Environmental Acoustics and Vibroacoustics*, Polish Acoustical Society, Gliwice – Szczyrk 2018 (in Polish).
8. Mlynska A., Dobrowolska D., Wiater M., The methods and instrumentation used for calibration of sound calibrators at the Central Office of Measures – National Metrology Institute in Poland, *Proc. of 64th Open Seminar on Acoustics (OSA)*, Polish Acoustical Society, Gliwice, 2017 (in Polish).
9. Siejda Z., Measurement of transverse sensitivity of vibration transducers, *Proc. of 19th Scientific Conference VibroTech*, Warszawa – Pruszków, 2017 (in Polish).
10. Kolasa J., Siejda Z. Calibration of vibration measuring equipment in the low frequency range in GUM (Central Office of Measures), *Proc. of 16th International Conference on Noise Control*, Gniezno, 2016, (in Polish).
11. Mlynska A., Bugalski M., Dobrowolska D., Periodic tests of tympanometers – a way to assure measurement traceability and reliability of audiological tests, *Bezpieczeństwo Pracy*, 5(536), (2016), 40-43.
12. Dobrowolska D., Bugalski M., Mlynska A., The methods of secondary pressure calibration of measurement microphones realized at the Central Office of Measures – National Metrology Institute in Poland, *Proc. of 58th Open Seminar on Acoustics (OSA)*, Polish Acoustical Society, Wrocław – Świeradów, 2015 (in Polish).



13. Dobrowolska D., Wiater M., The realization of the primary standard for sound pressure at the Central Office of Measures – National Metrology Institute in Poland, Proc. of 7th Forum Acusticum, Kraków, 2014.
14. Dobrowolska D., The apparatus intended for measurement of ultrasonic noise and the capabilities of its traceable calibration, Proc. of 16th International Conference on Noise Control, Ryn, 2013 (in Polish).
15. Dobrowolska D., The influence of apparatus parameters on the uncertainty of ultrasonic noise measurement, Proc. of 16th International Conference on Noise Control, Ryn, 2013, (in Polish).
16. Barham R., Zmierczak T., Jacket R., An alternative approach to the measurement of the acoustic transfer impedance of the IEC 60318-1 ear simulator, Metrologia, 49, (2012), 321-326.
17. Dobrowolska D., The methods of accounting for the influence of sound level meter parameters on the uncertainty of the measurement of noise describing quantities, Proc. Of 58th Open Seminar on Acoustics (OSA), Polish Acoustical Society, Jurata – Gdańsk, 2011 (in Polish).
18. Dobrowolska D., Calibration of audiometers – formal requirement or reasonable necessity, Proc. of 15th International Conference on Noise Control, Książ – Wrocław, 2010 and Proc. of 38th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Szczyrk, 2010, (in Polish).
19. Kolasa J., Calibration of human vibration meters according to the new standard PN-EN ISO 8041:2008, Proc. of 38th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Szczyrk, 2010 (in Polish).
20. Dobrowolska D., Wąsala T., Zmierczak T., Low-frequency pressure chamber system for determination of low-frequency response of acoustic measuring equipment, Proc. of 16th International Congress on Sound and Vibration, Kraków, 2009.
21. Dobrowolska D., Wąsala T., Zmierczak T., Calibration of acoustic measuring equipment in low-frequency range, Proc. of 37th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Korbielów, 2009 (in Polish).
22. Wąsala T., Measurement of self-generated noise of sound level meters, Proc. of 36th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Ustroń 2008 (in Polish).
23. Szelaż M., Kolasa J., Assuring traceability in the field of acoustics and vibration through the participation in key international comparisons and national interlaboratory comparisons, Proc. of 35th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Wisła 2007 (in Polish).
24. Wąsala T., Wiater M., Application of acoustical comparator for the calibration of measurement microphones by simultaneous comparison method, Proc. of 34th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Ustroń 2006 (in Polish).
25. Szelaż M., Dobrowolska D., New trends in metrology of acoustical quantities, Proc. of 34th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Ustroń 2006 (in Polish).
26. Kolasa J., Changes in approaching to the subject of metrological control of human vibration meters, Proc. of 34th Winter School on the Control of Acoustical and Vibration Hazards, Polish Acoustical Society, Gliwice – Ustroń 2006 (in Polish).



# Stanowiska pomiarowe

## AKUSTYKA

### Państwowy wzorzec jednostki miary ciśnienia akustycznego – wzorzec pierwotny

Stanowisko wzorca państwowego ciśnienia akustycznego składa się z:

- trzech laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych klasy LS1P (średnica 23,77 mm) spełniających wymagania normy [10],
- trzech laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych klasy LS2P (średnica 13,2 mm) spełniających wymagania normy [10],
- zautomatyzowanego, sterowanego komputerowo stanowiska pomiarowego do wzorcowania mikrofonów klasy LS metodą wzajemności, zgodnie z normą [11].

Stanowisko pomiarowe znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura  $23\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$  i wilgotność względna  $50\% \pm 15\%$ .

Stanowisko zapewnia odtwarzanie jednostki ciśnienia akustycznego paskala (Pa) w sposób pośredni poprzez wzorcowanie mikrofonów pomiarowych, charakteryzujących się bardzo dużą stabilnością charakterystyk metrologicznych, metodą wzajemności. Jest to metoda pierwotna, ponieważ nie wymaga odniesienia do jakiegokolwiek fizycznego wzorca akustycznego. Mikrofony pomiarowe, które można wzorcować metodą wzajemności, muszą być przetwornikami odwracalnymi, tj. mogącymi funkcjonować zarówno jako źródła (nadajniki), jak i odbiorniki sygnału akustycznego. Mikrofony te muszą także spełniać wymagania zasady wzajemności, co oznacza, że moduł skuteczności nadawczej takiego przetwornika jest równy modułowi jego skuteczności odbiorczej.

Metoda wzajemności wymaga użycia trzech mikrofonów łączonych ze sobą kolejno parami w taki sposób, aby podczas całego cyklu pomiarowego każdy z badanych mikrofonów działał zarówno jako źródło, jak i jako odbiornik sygnału akustycznego. Podczas wzorcowania obiektem pomiaru jest układ elektroakustyczny składający się z dwóch mikrofonów połączonych sprzężaczem wypełnionym powietrzem atmosferycznym. Wejściem układu są zaciski elektryczne mikrofonu nadawczego, natomiast wyjściem – zaciski elektryczne mikrofonu odbiorczego. Układ ten można scharakteryzować elektryczną impedancją przeniesienia rozumianą jako iloraz napięcia na wyjściu obciążonym impedancją nieskończenie wielką i natężenia prądu przepływającego przez wejście (prądu pobudzającego mikrofon nadawczy). Elektryczna impedancja przeniesienia jest wyznaczana pomiarowo przez porównanie z impedancją wzorcową włączoną szeregowo z mikrofonem nadawczym.

Wielkością fizyczną charakteryzującą „wnętrze” tego układu elektroakustycznego jest akustyczna impedancja przeniesienia, rozumiana jako iloraz ciśnienia akustycznego działającego na

membranę mikrofonu odbiorczego i prędkości objętościowej membrany mikrofonu nadawczego. Wartość tej impedancji zależy m.in. od następujących czynników: geometrycznej objętości sprzęgacza, impedancji akustycznej każdego z mikrofonów połączonych sprzęgaczem, częstotliwości sygnału akustycznego, ciśnienia statycznego i temperatury gazu wewnątrz sprzęgacza, ilorazu ciepła właściwych gazu wypełniającego sprzęgacz, wpływu zjawiska przewodzenia ciepła przez ściany sprzęgacza, rozkładu przestrzennego ciśnienia akustycznego w sprzęgaczu. Impedancja akustyczna przeniesienia określona dla pary mikrofonów połączonych sprzęgaczem jest wyznaczana obliczeniowo na podstawie znanych danych sprzęgacza i mikrofonów, przy wykorzystaniu odczytywanych na bieżąco wartości temperatury i ciśnienia statycznego oraz algorytmów modelujących matematycznie wpływy przewodzenia ciepła oraz rozkładu przestrzennego ciśnienia akustycznego w sprzęgaczu.

Dla każdej pary sprzężonych mikrofonów iloczyn ich skuteczności można opisać wzorem:

$$\underline{M}_{p,1} \underline{M}_{p,2} = \frac{1}{\underline{Z}_{a,12}} \frac{\underline{U}_2}{\underline{i}_1}$$

gdzie:

$\underline{M}_{p,1}$  i  $\underline{M}_{p,2}$  – skuteczności ciśnieniowe mikrofonów 1 i 2,

$\underline{Z}_{a,12}$  – akustyczna impedancja przeniesienia układu elektroakustycznego,

$\underline{U}_2$  – napięcie sygnału na zaciskach elektrycznych mikrofonu 2,

$\underline{i}_1$  – natężenie prądu przepływającego przez zaciski elektryczne mikrofonu 1.

Na stanowisku wzorca państwowego ciśnienia akustycznego można wzorcować laboratoryjne mikrofony wzorcowe klasy LS1 i LS2 oraz robocze mikrofony wzorcowe klasy WS1 i WS2 spełniające wymagania normy [12], których konfigurację mechaniczną można przekształcić do konfiguracji mikrofonów LS stosując odpowiednie adaptery.



W skład stanowiska wchodzi 4 układy do pomiaru następujących parametrów mikrofonów:

- rezystancji izolacji,
- elektrycznej impedancji przeniesienia pary sprzężonych ciśnieniowo mikrofonów,
- objętości efektywnej mikrofonu,
- głębokości wnęki czołowej mikrofonu.



Układ do wyznaczania elektrycznej impedancji przeniesienia pary sprzężonych ciśnieniowo mikrofonów

W czasie wzorcowania wyznacza się poziom skuteczności ciśnieniowej, w dB, w odniesieniu do 1V/Pa oraz kąt fazowy skuteczności. Obecne możliwości stanowiska umożliwiają wzorcowanie mikronów w zakresie częstotliwości od 2 Hz do 10 kHz (mikrofony klasy LS1) lub od 2 Hz do 25 kHz (mikrofony klasy LS2) z następującą niepewnością rozszerzoną:

Niepewność rozszerzona wyznaczania poziomu skuteczności ciśnieniowej (dB)			
Mikrofony klasy L1		Mikrofony klasy L2	
2 Hz do < 4 Hz	0,27	2 Hz do < 4 Hz	0,20
4 Hz do < 8 Hz	0,13	4 Hz do < 8 Hz	0,14
8 Hz do < 20 Hz	0,12	8 Hz do < 16 Hz	0,11
20 Hz do < 25 Hz	0,04	16 Hz do < 20 Hz	0,08
25 Hz do 2,5 kHz	0,03	20 Hz do < 25 Hz	0,05
> 2,5 kHz do 3,15 kHz	0,04	25 Hz do < 63 Hz	0,04
> 3,15 kHz do 4 kHz	0,05	63 Hz do 6,3 kHz	0,03
> 4 kHz do 8 kHz	0,06	6,3 kHz do < 8 kHz	0,04
> 8 kHz do 10 kHz	0,11	8 kHz do < 10 kHz	0,05
		10 kHz do < 12,5 kHz	0,06
		12,5 kHz do < 20 kHz	0,08
		20 kHz do < 25 kHz	0,12
		25 kHz	0,24

Niepewność rozszerzona wyznaczania kąta fazowego skuteczności ciśnieniowej (°)			
Mikrofony klasy L1		Mikrofony klasy L2	
2 Hz do < 4 Hz	2,8	2 Hz do < 4 Hz	3,20
4 Hz do < 8 Hz	2,2	4 Hz do < 8 Hz	1,90
8 Hz do < 16 Hz	1,9	8 Hz do < 16 Hz	1,30
16 Hz do < 20 Hz	1,7	16 Hz do < 20 Hz	1,10
20 Hz do < 63 Hz	1,5	20 Hz do < 25 Hz	0,90
63 Hz do < 125 Hz	1,1	25 Hz do < 31,5 Hz	0,80
125 Hz do 500 Hz	0,9	31,5 Hz do 125 Hz	0,70
500 Hz do < 1 kHz	0,7	125 Hz do < 250 Hz	0,60
1 kHz do < 2,5 kHz	1,1	250 Hz do < 1 kHz	0,50
2,5 kHz	0,9	1 kHz do < 5 kHz	0,40
> 2,5 kHz do 3,16 kHz	1,0	5 kHz do < 8 kHz	0,50
> 3,16 kHz do 4,7 kHz	1,2	8 kHz do < 12,5 kHz	0,60
> 4,7 kHz do 6,3 kHz	1,0	12,5 kHz	0,70
> 6,3 kHz do < 8 kHz	1,2	16 kHz	0,90
> 8 kHz do 10 kHz	1,4	20 kHz	1,30
		25 kHz	1,90

# Stanowisko do wzorcowania mikrofonów pomiarowych i kalibratorów akustycznych metodami wtórnymi

Zasadniczym elementem stanowiska jest analizator dwukanałowy PULSE firmy Brüel & Kjaer typ 3560C, który w zależności od rodzaju wzorcowania jest częścią:

- układu do wzorcowania mikrofonów pomiarowych metodą porównawczą oraz do wyznaczenia względnej charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu pobudzanego elektrostatycznie,
- układu do wzorcowania kalibratorów akustycznych.

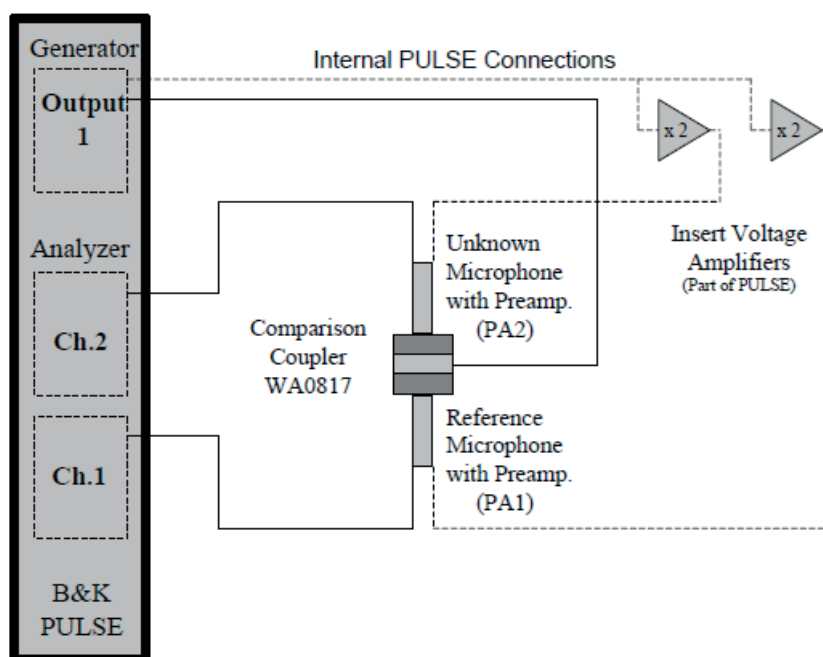


Stanowisko do wzorcowania kalibratorów akustycznych i mikrofonów pomiarowych

Stanowisko pomiarowe znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura  $23\text{ °C} \pm 1,5\text{ °C}$  i wilgotność względna  $50\% \pm 15\%$ .

## Układ do wzorcowania mikrofonów pomiarowych

Układ do wzorcowania mikrofonów pomiarowych to system pomiarowy firmy Brüel & Kjaer *Microphone Calibration System* typ 9721 z oprogramowaniem *Microphone Calibration Software* typ 9649, zrealizowany w analizatorze PULSE wraz z zestawem mikrofonów odniesienia i oprzyrządowaniem. System jest przewidziany do wzorcowania klasycznych mikrofonów pojemnościowych o średnicy: 1, 1/2 i 1/4 cala oraz mikrofonów powierzchniowych metodą porównania jednoczesnego z mikrofonem odniesienia, zgodnie z normą [13]. Sprzęgacze i adaptory wchodzące w skład systemu umożliwiają wzorcowanie metodą porównawczą prawie wszystkich mikrofonów firmy Brüel & Kjaer, ale mogą być też stosowane do wzorcowania mikrofonów innych producentów pod warunkiem, że mają podobne wymiary i złącza elektryczne. System umożliwia wyznaczenie skuteczności ciśnieniowej na otwartych (nieobciążonych) zaciskach mikrofonu z wykorzystaniem metody napięcia podstawionego lub skuteczności ciśnieniowej na obciążonych zaciskach mikrofonu, czyli układu pomiarowego mikrofon – przedwzmacniacz.



Układ pomiarowy do wzorcowania mikrofonów metodą porównania jednoczesnego

Mikrofon wzorcowany i mikrofon odniesienia są w czasie wzorcowania sprzężone za pomocą sprzęgacza aktywnego B&K typ WA 0817, wyposażonego w źródło dźwięku. Podczas wzorcowania mikrofonów o średnicy 1 cala, sprzęgacz jest dodatkowo wyposażony w adapter typ UA 1609.

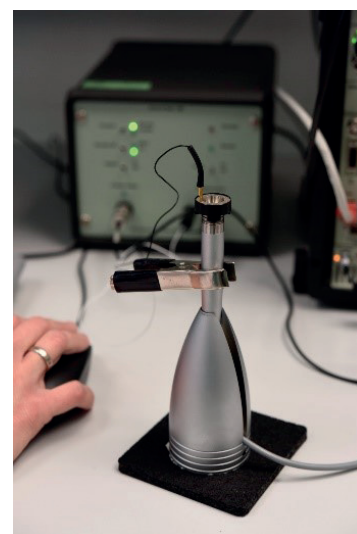
System umożliwi wzorcowanie mikrofonów pomiarowych klasy WS metodą porównawczą w zakresie częstotliwości ograniczonym od 20 Hz do 2 kHz, ze względu na wymiary sprzęgacza aktywnego. Jako mikrofon odniesienia stosuje się (w zależności od wymaganej niepewności pomiaru) jeden z mikrofonów wymienionych poniżej:

- laboratoryjny mikrofon wzorcowy klasy LS2 B&K typ 4180,
- roboczy mikrofon wzorcowy klasy WS2 B&K typ 4192.

W praktyce wyznacza się poziom skuteczności ciśnieniowej mikrofonu przy jednej częstotliwości nominalnej 250 Hz lub 1000 Hz, a względną charakterystykę częstotliwościową w pełnym zakresie wyznacza się metodą pobudnika elektrostatycznego. Wszystkie pomiary i obliczenia wykonuje się automatycznie.

Najmniejsze niepewności rozszerzone wyznaczania skuteczności mikrofonów metodą porównania jednoczesnego z mikrofonem klasy LS2 przy częstotliwości 250 Hz wynoszą: 0,06 dB dla mikrofonów klasy LS1, LS2, WS1 i WS2 oraz 0,08 dB dla mikrofonów klasy WS3.

System umożliwi również wyznaczanie charakterystyki częstotliwościowej mikrofonu pobudzanego elektrostatycznie zgodnie z normą [14]. Charakterystykę mikrofonu wyznacza się w zakresie częstotliwości od 20 Hz do górnej częstotliwości granicznej, dla częstotliwości zmienianych z krokiem 1/3- lub 1/12-oktawowym i normalizuje względem częstotliwości odniesienia 250 Hz (lub 1 kHz). Wszystkie pomiary i obliczenia wykonuje się automatycznie.

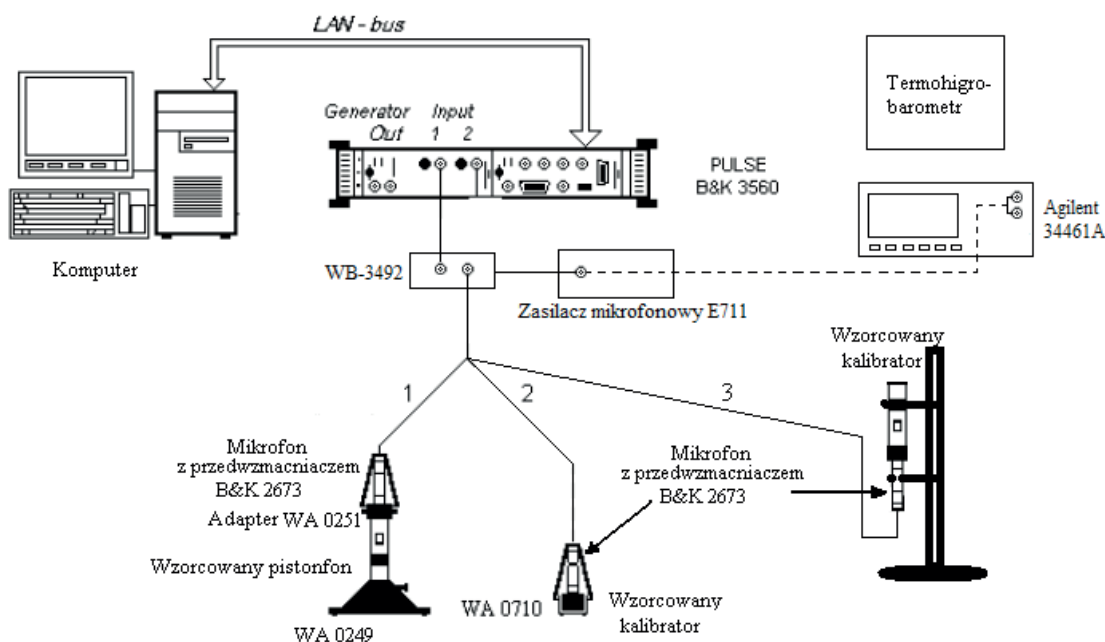
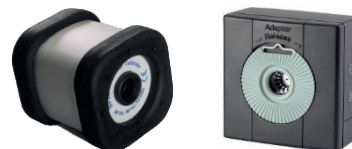




Niepewności wyznaczania charakterystyk częstotliwościowych mikrofonów pobudzanych elektrostatycznie zależą od wymiarów mikrofonu i ich skuteczności. Najmniejsze niepewności rozszerzone wynoszą od 0,09 dB w środkowym pasmie częstotliwości do 0,3 dB na jego krańcach.

## Układ do wzorcowania kalibratorów akustycznych

Układ do wzorcowania kalibratorów akustycznych stanowi analizator PULSE wraz z zestawem mikrofonów wzorcowych i oprzyrządowaniem oraz opracowane w Laboratorium oprogramowanie w arkuszu Excel, wykorzystujące możliwości analizatora PULSE w zakresie rejestracji i analizy widma FFT.



Układ pomiarowy do wzorcowania kalibratorów akustycznych

Wzorcowanie, które przeprowadza się metodą mikrofonu wzorcowego zgodnie z odpowiednią normą, obejmuje wyznaczenie widma FFT sygnału wytwarzanego przez kalibrator, a następnie na jego podstawie:

- wyznaczenie poziomu ciśnienia akustycznego na podstawie znanej wartości skuteczności mikrofonu wzorcowego oraz wartości skutecznej napięcia  $U$  odpowiadającego sygnałowi wytwarzanemu przez kalibrator, obliczonej na podstawie składowych  $U_i$  widma FFT zgodnie ze wzorem:

$$U = \sqrt{\frac{\sum_{i=\min}^{\max} U_i^2}{NPBW}}$$

z wykorzystaniem dostępnej w analizatorze PULSE metody CIC (Charge Injection Calibration), która umożliwia wyznaczenie tłumienia przedwzmacniacza mikrofonowego, a następnie napięcia na zaciskach otwartych mikrofonu,

- obliczenie częstotliwości sygnału zgodnie ze wzorem

$$f = \frac{\sum_{i=j-3}^{j+3} U_i^2 \cdot i \cdot \Delta f}{\sum_{i=j-3}^{j+3} U_i^2} = \frac{\sum_{i=j-3}^{j+3} U_i^2 \cdot f_i}{\sum_{i=j-3}^{j+3} U_i^2}$$

gdzie  $f_i$  oznacza częstotliwość  $i$ -tego prążka w widmie,

- obliczenie zniekształceń całkowitych + szum, zgodnie ze wzorem

$$TD = 100 \cdot \sqrt{\frac{U^2 - U_s^2}{U^2}}$$

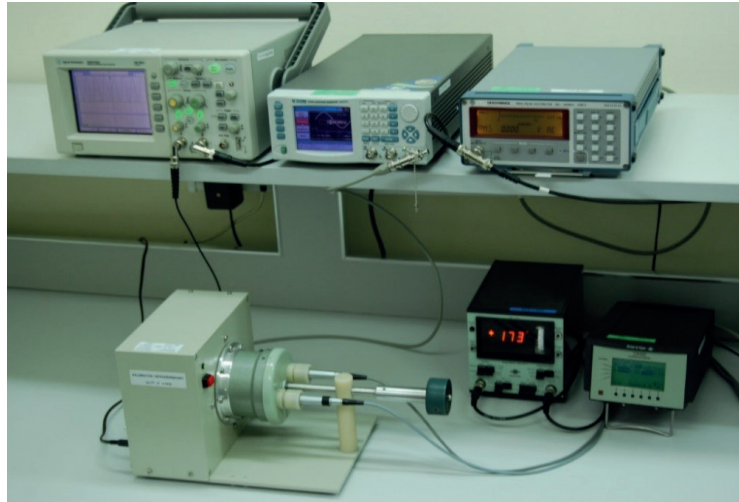
gdzie  $U_s$  oznacza wartość skuteczną napięcia składowej podstawowej sygnału z bezpośrednim sąsiedztwem.

Mikrofon pomiarowy stosowany do wzorcowania kalibratorów powinien być mikrofonem klasy: LS1P, LS2P, WS1P lub WS2P zgodnie z normami [10 i 12], wybranym w zależności od przeznaczenia kalibratora oraz od wymaganej niepewności wzorcowania.

Najmniejsze niepewności rozszerzone wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego kalibratorów klasy LS wynoszą: 0,05 dB przy wzorcowaniu z mikrofonem klasy LS1 i 0,06 dB przy wzorcowaniu z mikrofonem klasy LS2.



## Stanowisko do wzorcowania zestawów mikrofonowych oraz mierników poziomu dźwięku metodą porównawczą w zakresie małych częstotliwości od 1 Hz do 250 Hz

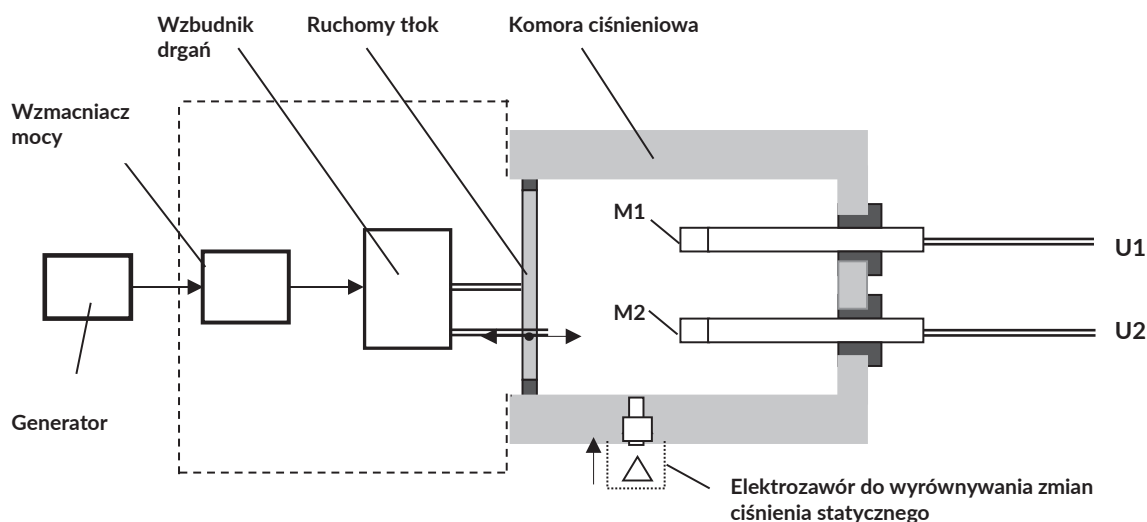


Stanowisko do wzorcowania zestawów mikrofonowych i mierników poziomu dźwięku metodą porównawczą w zakresie małych częstotliwości

Stanowisko pomiarowe powstało w 2006 r. w odpowiedzi na rosnące zapotrzebowanie na wzorcowanie aparatury akustycznej w zakresie bardzo małych częstotliwości. Głównym elementem stanowiska jest niskoczęstotliwościowa komora ciśnieniowa, zaprojektowana przez Pana Tadeusza Wąsalę (emerytowanego pracownika Laboratorium). Pole akustyczne w komorze jest wytwarzane za pomocą tłoka pobudzanego do drgań za pomocą wzbudnika elektrodynamicznego i działa z jednakową amplitudą na mikrofon badany i mikrofon odniesienia. Jednorodność pola akustycznego w komorze w zakresie małych częstotliwości jest bardzo dobra, co potwierdziły pomiary przesunięcia fazy sygnału akustycznego wewnątrz komory. W skład stanowiska wchodzi również zestawy mikrofonowe odniesienia B&K typ 4193-L-004 (mikrofon B&K typ 4193 zintegrowany na stałe z przedwzmacniaczem B&K typ 2669L), wzmacniacz mikrofonowy B&K typ NEXUS, generator TABOR Electronics typ WW 2572, woltomierz Rohde-Schwarz typ URE3 oraz termohigrometr firmy LAB – EL.

Dane techniczne układu generacji niskoczęstotliwościowego sygnału akustycznego:

- Poziom ciśnienia akustycznego przy częstotliwości 10 Hz: do 120 dB
- Zniekształcenia nieliniowe: < 2 %
- Zakres częstotliwości pomiarowych: od 0,2 Hz do 250 Hz
- Czas trwania stanu nieustalonego po zamknięciu komory: 20 s
- Objętość komory ciśnieniowej: 460 cm<sup>3</sup>
- Wbudowany pneumatyczny elektrozawór do wyrównywania ciśnienia statycznego
- Wbudowany wzmacniacz sygnałowy mocy do zasilania wzbudnika elektrodynamicznego



Układ generacji niskoczęstotliwościowego sygnału akustycznego

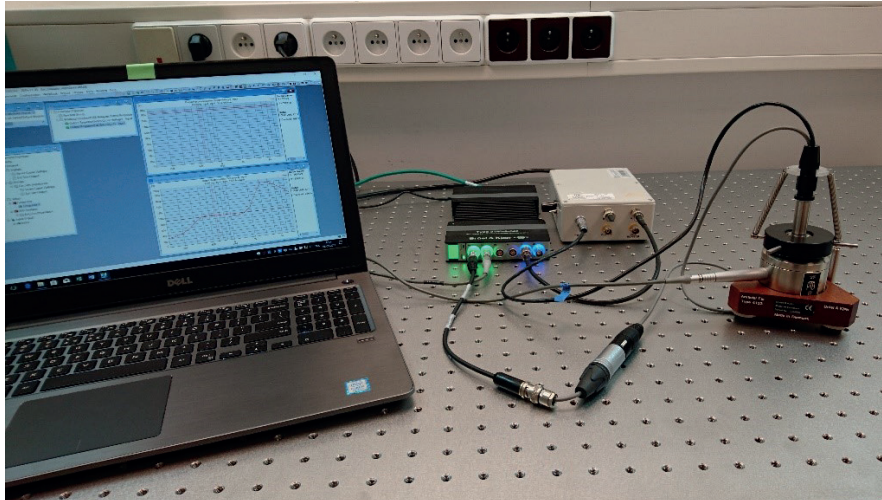
Wzorcowanie zestawu mikrofonowego polega na wyznaczeniu względnej charakterystyki częstotliwościowej skuteczności zestawu metodą porównania jednoczesnego z zestawem mikrofonowym odniesienia B&K typ 4193-L-004. Zestaw mikrofonowy wzorcowany i zestaw odniesienia są w czasie wzorcowania umieszczone w kalibratorze infradźwiękowym w warunkach pola swobodnego (otwór wyrównujący ciśnienie statyczne w mikrofonie znajduje się w czasie wzorcowania wewnątrz komory kalibratora).

Wzorcowanie miernika poziomu dźwięku polega na wyznaczeniu odchylenia jego charakterystyki  $G$  od wartości docelowych tej charakterystyki. Pomiary przeprowadza się w dwóch etapach. W pierwszym wyznacza się względną charakterystykę mikrofonu miernika w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 250 Hz, i normalizuje ją względem częstotliwości 250 Hz. W drugim wyznacza się charakterystykę  $G$  miernika za pomocą sygnałów elektrycznych doprowadzonych do jego wejścia poprzez adapter zainstalowany pomiędzy jego mikrofonem i przedwzmacniaczem, a następnie koryguje jej wartości zgodnie przebiegiem charakterystyki wyznaczonej w pierwszym etapie.

Spójność pomiarowa na stanowisku w zakresie częstotliwości od 1 Hz do 20 Hz nie jest wystarczająco potwierdzona. Zestawy mikrofonowe odniesienia były wzorcowane w laboratorium producenta za pomocą metod własnych, nieznormalizowanych. Nie były dotychczas organizowane żadne porównania międzynarodowe dotyczące metod wtórnych wzorcowania mikrofonów pomiarowych w tym zakresie częstotliwości. W GUM realizowany jest obecnie projekt mający na celu wykorzystanie mikrofonów klasy LS2, wzorcowanych na stanowisku wzorca państwowego ciśnienia akustycznego od 2 Hz, jako mikrofony odniesienia.

Najmniejsze niepewności rozszerzone wyznaczania charakterystyki częstotliwościowej zestawu mikrofonowego w zakresie od 1 Hz do 250 Hz wynoszą, w zależności od częstotliwości: od 0,12 dB do 0,15 dB. Najmniejsze niepewności rozszerzone wyznaczania odchylenia charakterystyki  $G$  miernika od wartości docelowych w zakresie od 1 Hz do 250 Hz wynoszą od 0,2 dB do 0,3 dB.

# Stanowisko do wzorcowania symulatorów ucha oraz sprzęgaczy akustycznych stosowanych w audiometrii



Stanowisko służy do wzorcowania symulatorów ucha (tzw. sztucznych uszu) oraz sprzęgaczy akustycznych, przeznaczonych do pomiarów ze słuchawkami nausznymi stosowanymi w audiometrii, dla których wymagania określono w normach [16, 17]. Stanowisko znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura  $23\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$  i wilgotność względna  $50\% \pm 15\%$ .



Zasadniczym elementem stanowiska, po jego gruntownej modernizacji w 2019 r., jest czterokanałowy analizator z generatorem, zrealizowany w systemie PULSE firmy Brüel & Kjær wraz z oprzyrządowaniem i oprogramowaniem – projekt w Labshop dla systemu PULSE oraz arkusz kalkulacyjny Excel do obliczeń.

Stanowisko umożliwia:

- wyznaczenie impedancji akustycznej przeniesienia symulatorów ucha w zakresie częstotliwości od 125 Hz do 10 kHz, zgodnie z Załącznikiem C do normy [16],
- wyznaczenie skuteczności:
  - układu symulatora (tj. symulatora ucha z mikrofonem klasy WS2 i przedwzmacniaczem mikrofonowym) lub
  - układu sprzęgacza akustycznego (tj. sprzęgacza z mikrofonem klasy WS1 w konfiguracji LS1 i przedwzmacniaczem mikrofonowym),

w zakresie częstotliwości od 125 Hz do 8 kHz, metodą porównania kolejnego z mikrofonem odniesienia klasy LS1 w sprzęgaczu akustycznym biernym B&K typ WA 0835, przeznaczonym pierwotnie do wzorcowania mikrofonów metodą wzajemności.

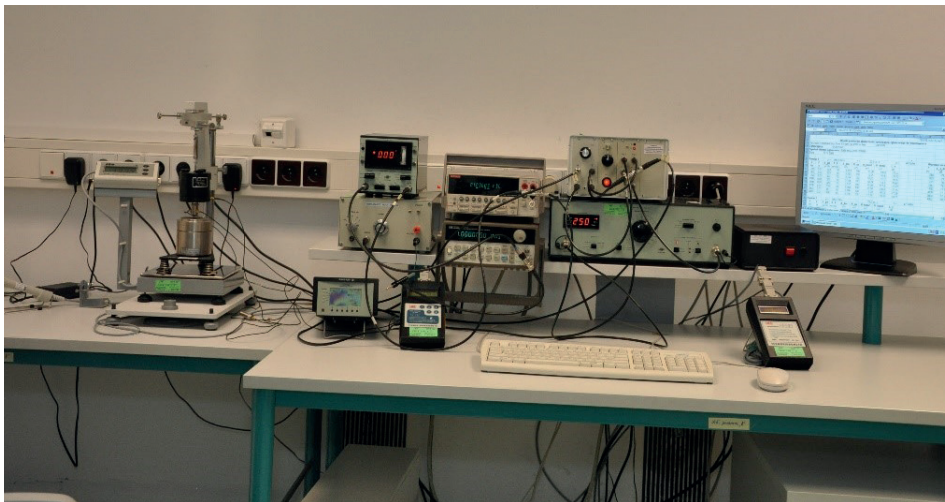
Najmniejsze niepewności rozszerzone wyznaczania charakterystyki częstotliwościowej skuteczności układu symulatora ucha wynoszą, w zależności od częstotliwości, od 0,1 dB do 0,2 dB, a poziomu akustycznej impedancji przeniesienia 0,3 dB.

# Stanowisko do wzorcowania sprzęgaczy mechanicznych stosowanych w audiometrii

Stanowisko opracowane w Laboratorium przeznaczone jest do wzorcowania sprzęgaczy mechanicznych, stosowanych do wzorcowania audiometrów z funkcją przewodnictwa kostnego, a także do przeprowadzania badań słuchawek kostnych i aparatów słuchowych wykorzystujących przewodnictwo kostne. Stanowisko umożliwia wyznaczenie poziomu skuteczności sprzęgacza przy stałej wartości siły dynamicznej doprowadzonej do sprzęgacza i poziomu impedancji mechanicznej sprzęgacza w zakresie częstotliwości od 250 Hz do 4 kHz oraz kąta fazowego impedancji mechanicznej przy częstotliwości 250 Hz.



Wzorcowanie przeprowadza się za pomocą głowicy impedancyjnej Brüel & Kjaer typ 8000 o znanych wartościach czułości w torze przyspieszenia i torze siły dynamicznej, pobudzonej do drgań za pomocą wzbudnika B&K typ 4810, wzorcowanej na stanowisku wzorca państwowego wielkości drgań mechanicznych. Jest to metoda powszechnie stosowana, zalecana przez firmę Brüel & Kjaer, producenta sprzęgaczy mechanicznych typ 4930, jedyne modelu sprzęgacza używanego w Polsce i w większości państw na świecie.



Stanowisko do wzorcowania sprzęgaczy mechanicznych stosowanych w audiometrii

Pomiary, obliczenia oraz sprawdzenie zgodności impedancji mechanicznej oraz kąta fazowego impedancji z wymaganiami normy [19]. Najmniejsza niepewność rozszerzona wyznaczania poziomu skuteczności sprzęgacza mechanicznego wynosi 0,5 dB, a poziomu impedancji mechanicznej 0,6 dB.

Obecnie trwają prace nad modernizacją stanowiska, polegające przede wszystkim na zastąpieniu licznych przyrządów analogowych czterokanałowym analizatorem z generatorem, zrealizowanym w systemie PULSE firmy Brüel & Kjaer, używanym już do wzorcowania symulatorów ucha oraz opracowaniu procedury wzorcowania w tym systemie.



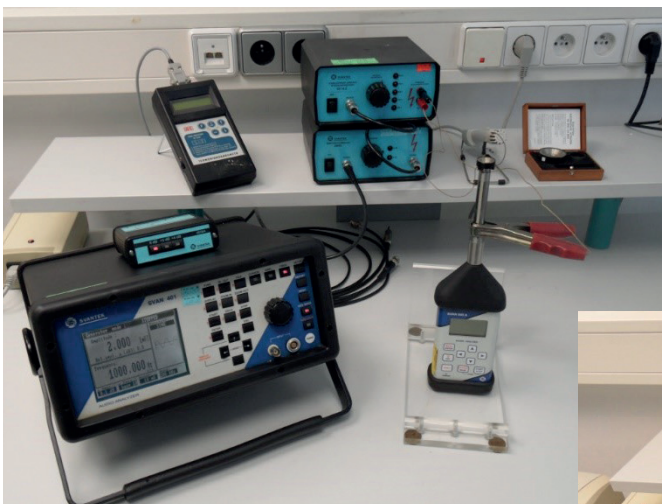
# Stanowisko do wzorcowania i badania przyrządów do pomiaru dźwięku: mierników poziomu dźwięku, filtrów pasmowych i indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk

Stanowisko jest przeznaczone do wzorcowania i badania mierników poziomu dźwięku [20, 23], filtrów pasmowych [26] (głównie mierników poziomu dźwięku z filtrami pasmowymi) i indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk [29] zgodnie z właściwymi normami [21, 22, 24, 25, 27, 28 i 29].



Wzorcowania i badania przeprowadza się:

- za pomocą sygnałów akustycznych w warunkach ciśnieniowych i/lub za pomocą sygnałów z pobudnika elektrostatycznego, symulujących pobudzenie akustyczne oraz
- za pomocą sygnałów elektrycznych doprowadzonych do wejścia przedwzmacniacza, po zastąpieniu mikrofonu urządzeniem przeznaczonym do doprowadzania sygnału do wejścia elektrycznego miernika, zwanym często „impedancją zastępczą mikrofonu”.  
(brak możliwości badań i wzorcowania w akustycznym polu swobodnym).



Układy pomiarowe do wyznaczenia charakterystyki częstotliwościowej miernika poziomu dźwięku za pomocą pobudnika elektrostatycznego i kalibratora akustycznego wieloczęstotliwościowego



Zasadniczym elementem stanowiska jest generator sygnałów elektrycznych firmy SVANTEK typ SVAN 401, wytwarzający wszystkie sygnały ustalone i impulsowe, niezbędne do badania odpowiedzi przyrządów na sygnały pomiarowe zgodnie z właściwymi normami. Do wzorcowań i badań za pomocą sygnałów akustycznych stosowane są również:

- kalibratory akustyczne B&K typ 4231, wywarzające sygnały o częstotliwości nominalnej 1 kHz i poziomie ciśnienia akustycznego 94 dB i 114 dB,
- wieloczęstotliwościowy kalibrator akustyczny B&K typ 4226 wywarzający sygnały o częstotliwościach nominalnych 31,5 Hz, 63 Hz, 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz, 12,5 kHz i 16 kHz oraz poziomie ciśnienia akustycznego 94 dB, 104 dB i 114 dB,
- pobudniki elektrostatyczne B&K typ UA 0033 wraz z układem polaryzacji pobudnika elektrostatycznego SVANTEK typ SV 14Z oraz wzmacniaczem wysokonapięciowym SVANTEK typ SWP2, współpracujące z generatorem SVANTEK typ SVAN 401, umożliwiające wyznaczanie charakterystyk częstotliwościowych mikrofonów w zakresie częstotliwości określonych we właściwych normach.

Wszystkie pomiary na stanowisku wykonuje się przy ręcznej obsłudze przyrządów.

## Stanowisko do wzorcowania urządzeń audiometrycznych: audiometrów, tympanometrów

Stanowisko służy do wzorcowania i badania audiometrów tonowych i tympanometrów (przyrządów do pomiaru impedancji lub admitancji akustycznej ucha), dla których wymagania metrologiczne są określone w normach [30, 31], oraz innych urządzeń audiometrycznych.



Stanowisko do wzorcowania urządzeń audiometrycznych

Zasadniczym elementem stanowiska jest analizator akustyczny umożliwiający pomiar poziomu dźwięku szerokopasmowy i w pasmach tercjowych oraz analizę FFT sygnałów, a także zestaw wzorców: symulator ucha (tzw. sztuczne ucho), sprzęgacz akustyczny stosowany w audiometrii i sprzęgacz mechaniczny do pomiarów ze słuchawkami kostnymi. W skład stanowiska wchodzi też przyrząd do pomiaru siły docisku słuchawek.

Stanowisko znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  i wilgotność  $50\% \pm 15\%$ .

Stanowisko umożliwia pomiar:

- poziomu ciśnienia akustycznego tonów i innych sygnałów wytwarzanych przez urządzenia audiometryczne w torze przewodnictwa powietrznego,
- poziomu siły dynamicznej tonów w torze przewodnictwa kostnego,
- częstotliwości tonów,
- zniekształceń nieliniowych w torze przewodnictwa powietrznego i kostnego,
- czasu narastania i zanikania sygnałów,
- siły docisku słuchawek nausznych i słuchawki kostnej.

Wszystkie pomiary na stanowisku wykonuje się przy ręcznej obsłudze przyrządów.

Dotychczas na stanowisku stosowany był analizator akustyczny firmy SVANTEK typ SVAN 410. Obecnie trwają prace w kierunku zastąpienia go nowoczesnym analizatorem firmy Brüel & Kjaer, zrealizowanym w systemie PULSE, używanym już do wzorcowania symulatorów ucha.

## Stanowisko do badania wpływu ciśnienia statycznego na właściwości przyrządów akustycznych

Zasadniczym elementem stanowiska jest komora ciśnieniowa zaprojektowana przez Pana Tadeusza Wąsalę (emerytowanego pracownika Laboratorium) wykonana we współpracy z warsztatami mechanicznymi GUM. Komora ma zdejmowaną cylindryczną pokrywę z pleksiglasu, z kołnierzem w dolnej części. W czasie pracy spoczywa na płaskiej metalowej płycie podstawy i jest uszczelniona za pomocą dwóch pierścieni gumowych (oringów). Na płycie podstawy umieszczono zawory i rozdzielacze pneumatyczne, połączone z wnętrzem komory oraz pompą powietrzną i zewnętrznym miernikiem ciśnienia Wallace & Tiernan typ DIPTRON 3. Ciśnienie w komorze wytwarzane jest za pomocą elektrycznej pompy membranowej firmy HIBLOW typ SPP6GAS.

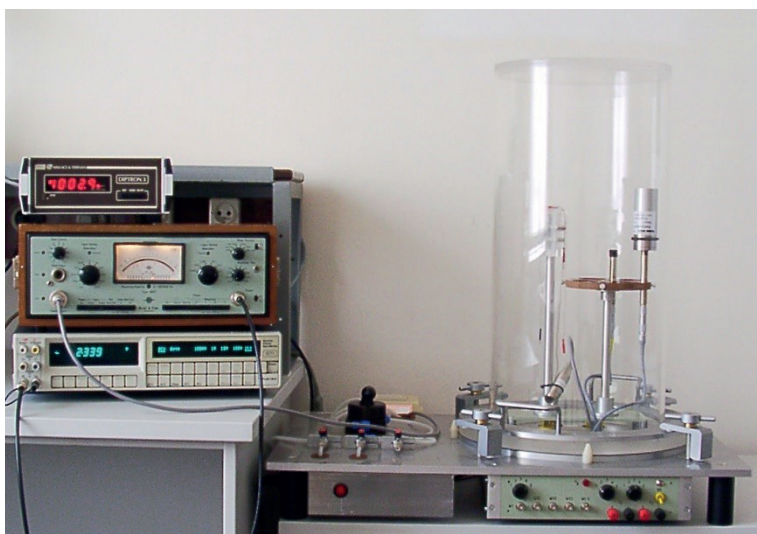
Dane techniczne komory:

- objętość komory ok.  $60\text{ dm}^3$ ,
- zakres zmian ciśnienia statycznego: od 52 kPa do 130 kPa,
- płynna regulacja szybkości zmian ciśnienia w zakresie od 0,1 hPa/s do 3 hPa/s,
- dobra szczelność komory zapewniająca dużą stałość wytworzonego ciśnienia,
- możliwość jednoczesnego zasilania i badania czterech torów mikrofonowych za pomocą kalibratorów akustycznych i pobudników elektrostatycznych.



Możliwości pomiarowe stanowiska z komorą ciśnieniową:

- pomiar współczynnika wpływu ciśnienia statycznego na skuteczność mikrofonów pomiarowych,
- badanie wpływu ciśnienia statycznego na charakterystyki częstotliwościowe mikrofonów pomiarowych,
- pomiar współczynnika wpływu ciśnienia statycznego na poziom ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez kalibratory akustyczne,
- badanie wpływu ciśnienia statycznego na charakterystyki metrologiczne mierników poziomu dźwięku,
- badanie barometrów stanowiących wyposażenie kalibratorów akustycznych,
- badania wpływu ciśnienia na inne przetworniki i przyrządy pomiarowe podatne na zmiany ciśnienia statycznego.



Stanowisko do badania wpływu ciśnienia statycznego na właściwości przyrządów akustycznych

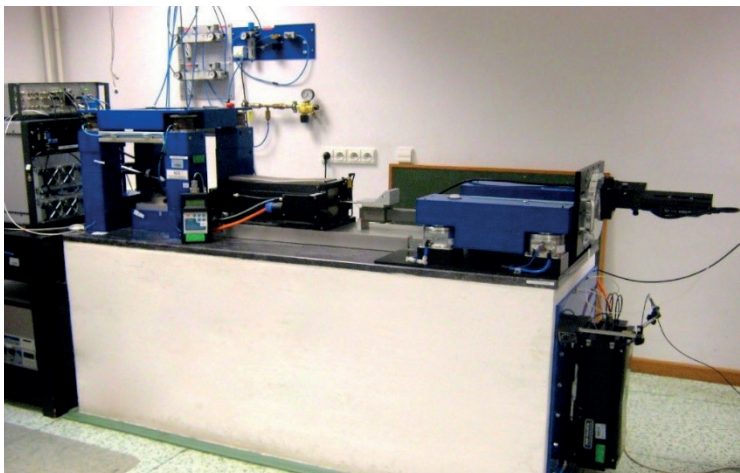
Po wymianie standardowej pokrywy na wysoką, komora umożliwia badania całych zestawów mikrofonowych w osłonach wszechpogodowych stosowanych do monitoringu hałasu np. na lotniskach.



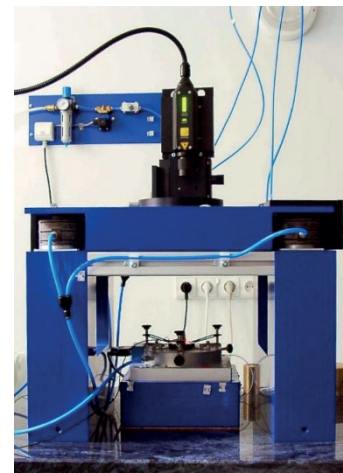
# DRGANIA MECHANICZNE

## Wzorzec państwowy jednostki miary wielkości drgań mechanicznych – wzorzec pierwotny

Wzorzec stanowi sterowane komputerowo stanowisko pomiarowe do wzorcowania przetworników drgań mechanicznych i zestawów pomiarowych w zakresie od 0,2 Hz do 20 kHz metodą interferometrii laserowej (metodą pierwotną), zgodnie z normą [32], opracowane w niemieckiej firmie SPEKTRA.

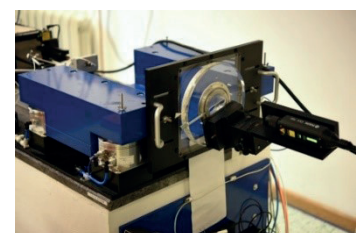


Stanowisko do wzorcowania przetworników drgań mechanicznych metodą interferometrii laserowe



Zasadniczymi elementami stanowiska są przyrząd kontrolno-sterujący SRS-35, wibrometr laserowy CLV-1000, wzbudniki drgań Endevco 2911, APS 500 i APS 113AB firmy APS Dynamics Systems oraz oprogramowanie SPEKTRA CS18. Zależnie od zastosowanego wzbudnika stanowisko umożliwia wzorcowanie w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz (wzbudnik typ 2911) lub w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 160 Hz (wzbudnik typ APS 500 lub APS 113AB). System pracuje w 3 następujących konfiguracjach umożliwiających wzorcowanie w różnych zakresach częstotliwości i dla kierunków drgań – pionowego i poziomego:

- konfiguracja 1: od 5 Hz do 20 kHz dla drgań o kierunku pionowym,
- konfiguracja 2: od 0,2 Hz do 160 Hz dla drgań o kierunku poziomym,
- konfiguracja 3: od 0,2 Hz do 160 Hz dla drgań o kierunku pionowym.



W celu zapewnienia izolacji od zakłócających drgań przekazywanych z podłoża, wzbudniki drgań 2911 i APS 500 zamocowano na ciężkiej marmurowej płycie posadowionej na betonowej podstawie, a wzbudnik APS 113AB przymocowano bezpośrednio do bocznej ściany betonowej podstawy. Na tej samej marmurowej płycie posadowione są pozycjonujące podstawy dla zamocowania głowicy wibrometru laserowego, izolowane od drgań wytwarzanych przez wzbudnik poprzez izolatory powietrzne.

Wszystkie pomiary i obliczenia są wykonywane automatycznie. Stanowisko znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura powietrza  $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ . Stanowisko służy do wzorcowania:

- przetworników drgań mechanicznych, wymagających zarówno zewnętrznego wzmacniacza ładunkowego, zwanych „przetwornikami ładunkowymi”, jak i przetworników z wbudowanym wzmacniaczem, zwanych „przetwornikami IEPE”:
  - o czułości co najmniej  $0,1\text{ pC m}^{-1}\text{ s}^2$  ( $\text{mV m}^{-1}\text{ s}^2$ ) i masie nie większej niż 200 g w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 20 kHz – kierunek drgań pionowy,
  - o czułości co najmniej  $20\text{ pC m}^{-1}\text{ s}^2$  ( $\text{mV m}^{-1}\text{ s}^2$ ) i masie nie większej niż 900 g w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 160 Hz – kierunek drgań poziomy lub pionowy,
- zestawów pomiarowych, składających się z przetworników drgań mechanicznych i wzmacniaczy zewnętrznych,
- wibrometrów laserowych, zgodnie z normą [36].

Wzorcowanie przetworników obejmuje wyznaczenie modułu czułości przetwornika drgań mechanicznych/zestawu pomiarowego, wyrażonej w  $\text{pC m}^{-1}\text{ s}^2$  lub w  $\text{mV m}^{-1}\text{ s}^2$  oraz kąta fazowego czułości. Najlepsze niepewności rozszerzone wyznaczania modułu i kąta fazowego czułości wynoszą:

W zakresie częstotliwości (0,2 ÷ 160) Hz	Moduł czułości	Kąt fazowy czułości
(0,2 ÷ 0,315) Hz	0,9 %	0,9°
(0,4 ÷ 0,8) Hz	0,5 %	0,5°
(1 ÷ 4) Hz	0,4 %	0,5°
(5 ÷ 40) Hz	0,3 %	0,5°
(50 ÷ 160) Hz	0,6 %	0,7°

W zakresie częstotliwości 5 Hz ÷ 10 kHz	Moduł czułości	Kąt fazowy czułości
(5 ÷ 8) Hz	0,7 %	1,1°
(10 ÷ 16) Hz	0,6 %	0,7°
(20 ÷ 4000) Hz	0,5 %	0,6°
5000 Hz	0,6 %	0,8°
(6300 ÷ 8000) Hz	1,1 %	1,0°
10 000 Hz	1,4 %	1,0°

Dodatkowe możliwości pomiarowe stanowiska:

- wzorcowanie przetworników drgań metodą porównawczą zgodnie z normą [34] w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz, z wykorzystaniem wzbudnika Endevco typ 2911 i wbudowanego przetwornika Endevco typ 2270M18,
- wzorcowanie przetworników drgań metodą porównawczą zgodnie z normą [34] w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 160 Hz, z wykorzystaniem wzbudnika typ APS 500 lub APS 113AB i przetwornika typ 3701,



- wzorcowanie niskoczęstotliwościowych wzbudników drgań mechanicznych typ APS w zakresie wyznaczenia względnych drgań poprzecznych,
- wzorcowanie wzmacniaczy i zasilaczy przetworników drgań mechanicznych z wykorzystaniem sygnału elektrycznego w zakresie częstotliwości od 0,1 Hz do 20 kHz.

## Stanowisko do wzorcowania przetworników przy pobudzeniu udarowym metodą porównawczą

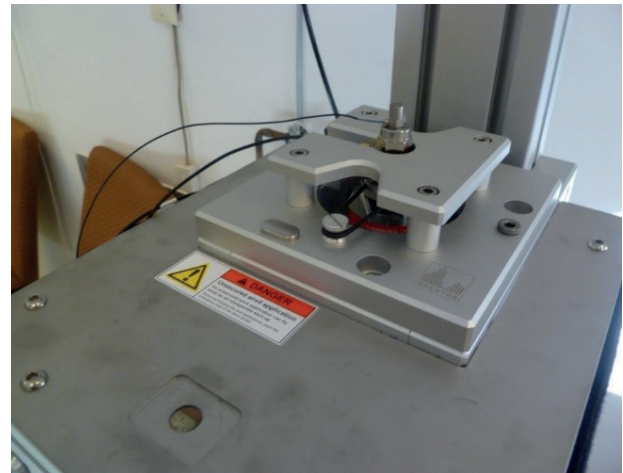
Stanowisko służy do wzorcowania piezoelektrycznych i piezorezystywnych przetworników udarów/przetworników przyspieszenia drgań mechanicznych o masie do 50 g oraz zestawów po-



Stanowisko do wzorcowania przetworników przy pobudzeniu udarowym metodą porównawczą

miarowych, składających się z ww. przetworników i wzmacniaczy zewnętrznych. Dopuszcza się, dla celów badawczych, wzorcowanie przetworników o masie do 80 g.

Zasadniczymi elementami sterowanego komputerowo stanowiska pomiarowego są: przyrząd kontrolno-sterujący SRS-35, wzbudnik udarów SE-201 PN-LMS, zestaw przetworników wzorcowych pełniących funkcję wzorców odniesienia oraz oprogramowanie SPEKTRA CS18 LF/LMS. Wzbudnik może występować w konfiguracji z kowadłem do udarów o małych lub dużych wartościach. Stanowisko zostało opracowane i wykonane w niemieckiej firmie SPEKTRA.



Kowadło do uderzeń odpowiednio o małych i dużych wartościach

Stanowisko znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura powietrza  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Wzorcowanie przetworników uderzeń przeprowadza się metoda porównawczą, zgodnie z normą [35], z zastosowaniem wzorcowego przetwornika odniesienia typ 2270 firmy Endevco, zamocowanego w pozycji normalnej do wybranego kowadła. Powierzchnię mocowania wzorcowanych przetworników drgań stanowi górna powierzchnia przetwornika wzorcowego. Wzorcowanie polega na wyznaczeniu czułości przetwornika lub zestawu pomiarowego, wyrażonej w  $\text{pC m}^{-1} \text{s}^2$  lub w  $\text{mV m}^{-1} \text{s}^2$ , dla przyspieszeń z zakresu:

- od  $20 g_n$  do  $250 g_n$  – jeśli stosowane jest kowadło do uderzeń o małych wartościach przyspieszenia, tzw. kowadło małego uderu (Low-shock anvil),
  - od  $200 g_n$  do  $10000 g_n$  – jeśli stosowane jest kowadło do uderzeń o dużych wartościach przyspieszenia, tzw. kowadło dużego uderu (Medium-shock anvil),
- gdzie:  $g_n = 9,80665 \text{ m/s}^2$  (przyspieszenie ziemskie normalne).

Najmniejsze niepewności rozszerzone wzorcowania przetworników uderzeń i zestawów pomiarowych metodą porównawczą, w zależności od przyspieszenia uderu, wynoszą:

- 1 % – dla przyspieszenia uderu w zakresie od  $0,2 \text{ km/s}^2$  do  $2 \text{ km/s}^2$ ,
- 2 % – dla przyspieszenia uderu w zakresie od  $2 \text{ km/s}^2$  do  $50 \text{ km/s}^2$ ,
- 3,5 % – dla przyspieszenia uderu w zakresie od  $50 \text{ km/s}^2$  do  $100 \text{ km/s}^2$ .

## Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodami wtórnymi w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz



Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodami wtórnymi

Stanowisko służy do wzorcowania przetworników drgań mechanicznych, zestawów pomiarowych i mierników drgań metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz, zgodnie z normą [34], w tym mierników drgań działających na człowieka, zgodnie z normą [38], a także do wzorcowania kalibratorów drgań metodą wzorcowego przetwornika drgań, zgodnie z normami [34] i [37]. Zasadnicze elementy stanowiska to:

- zestaw wzbudników drgań: B&K typ 4808, Robotron typ 11075 (2 szt.), SPEKTRA typ SE-10,
- generatory sygnałowe: HP typ 3245A, SVANTEK typ SVAN 401 (2 szt.),
- zestaw wzorcowych przetworników drgań: B&K typ 8305 (5 szt.), PCB typ M353B17,
- wzmacniacze ładunkowe: B&K typ 2692 (3 szt.),
- wzmacniacze napięciowe: B&K typ 2692 (2 szt.),
- woltomierze: Schlumberger typ 7071, Rohde & Schwarz typ URE-3,
- wzmacniacze mocy: TIRA BAA500, B&K typ 2718, SPEKTRA typ PA14-180,
- przetworniki A/C: TiePie Engineering typ HS3-AWG-5, ADLINK Technology typ PCI-9527 (przy pomiarach sterowanych komputerowo),
- zestaw kontrolnych kalibratorów drgań: B&K typ 4291, B&K typ 4294, Emson-Mat typ K-10, Emson-Mat typ K-20.



W zależności od rodzaju wzorcowania przyrządy te wchodzą w skład następujących układów pomiarowych:

- układu do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych (przetworników drgań, zestawów pomiarowych, mierników drgań, w tym mierników drgań działających na człowieka) metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz,
- układu do wzorcowania nietypowych przetworników drgań i zestawów pomiarowych, metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 2 kHz,
- układu do wzorcowania kalibratorów drgań.

## Układ do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz

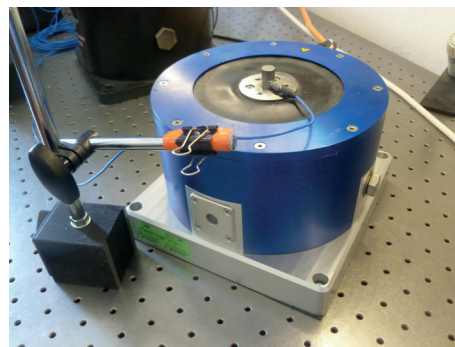
Układ służy do wzorcowania:

- przetworników drgań mechanicznych, wymagających zastosowania zewnętrznych wzmacniaczy, tzw. „przetworników ładunkowych”,
- przetworników drgań mechanicznych z wbudowanymi wzmacniaczami, tzw. „przetworników IEPE”,
- zestawów pomiarowych, składających się z przetworników drgań mechanicznych i wzmacniaczy zewnętrznych,
- mierników drgań maszyn (z przetwornikami drgań),
- mierników drgań mechanicznych działających na człowieka (z przetwornikami drgań),
- innych zestawów do pomiaru wielkości drgań mechanicznych z przetwornikami drgań.



Wzorcowanie przetworników i zestawów pomiarowych polega na wyznaczeniu ich czułości metodą porównawczą z wzorcowym przetwornikiem odniesienia, zgodnie z normą [34], w zakresie częstotliwości:

- od 5 Hz do 2 kHz – jeśli stosowany jest wzbudnik drgań Robotron typ 11075,
- od 5 Hz do 5 kHz – jeśli stosowany jest wzbudnik B&K typ 4808 ze stolikiem WA0567,
- od 5 Hz do 10 kHz – jeśli stosowany jest wzbudnik drgań SPEKTRA typ SE-10.

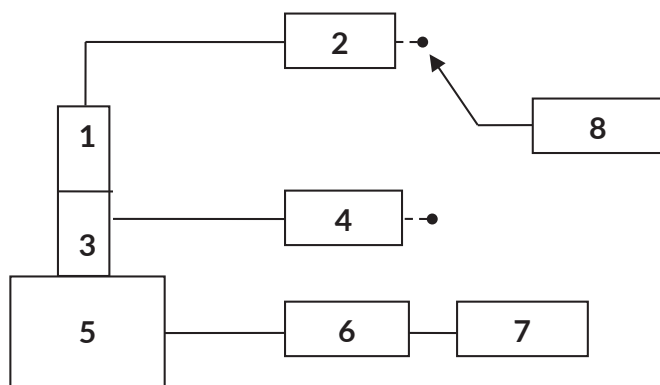


Wzorcowane są przetworniki ładunkowe o czułościach od około  $0,1 \text{ pC m}^{-1} \text{ s}^2$  do  $1000 \text{ pC m}^{-1} \text{ s}^2$  i przetworniki IEPE o czułościach od  $0,1 \text{ mV m}^{-1} \text{ s}^2$  do  $1 \text{ V m}^{-1} \text{ s}^2$ . Pomiary przeprowadzane są w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w Laboratorium.

Najlepsze wartości niepewności rozszerzonej wzorcowania przetworników drgań mechanicznych i zestawów pomiarowych metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 10 kHz wynoszą, w zależności od częstotliwości:

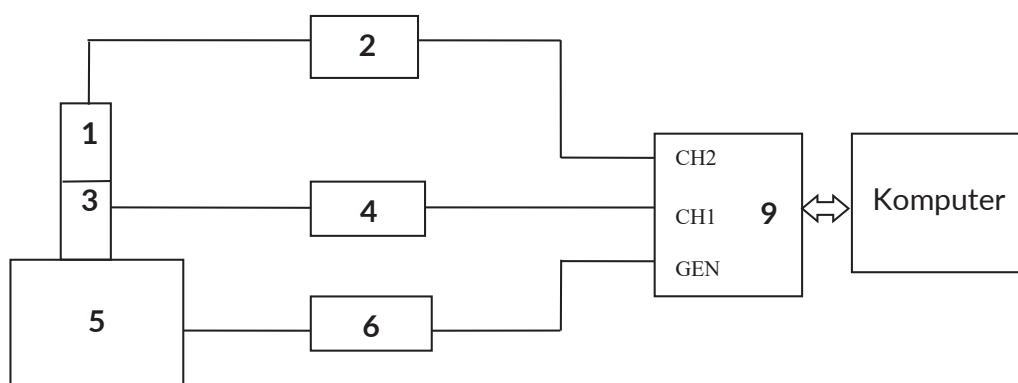
- od 0,8 % do 1,7 % dla przetworników drgań,
- od 0,7 % do 1,6 % dla zestawów pomiarowych.





- 1 – przetwornik wzorcowany
- 2 – wzmacniacz
- 3 – wzorcowy przetwornik odniesienia
- 4 – wzmacniacz
- 5 – wzbudnik drgań
- 6 – wzmacniacz mocy
- 7 – generator sygnałowy
- 8 – woltomierz
- 9 – przetwornik A/C

Układ do wzorcowania przetworników drgań/zestawów pomiarowych w trybie ręcznym

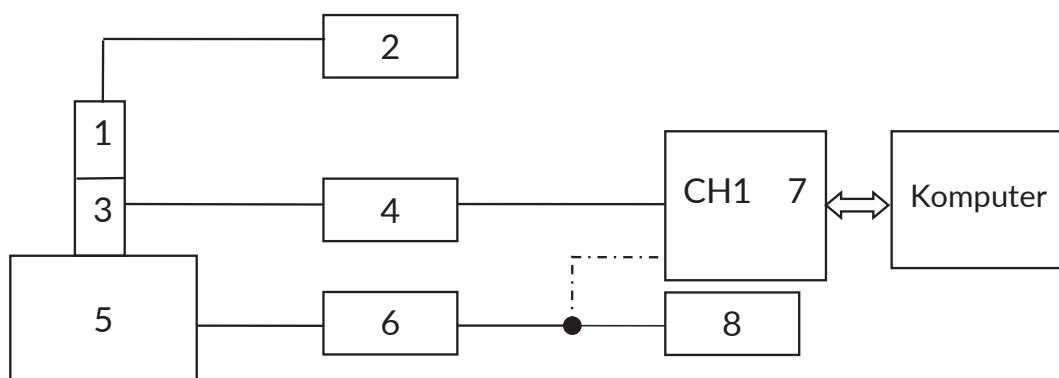


Układ do wzorcowania przetworników drgań / zestawów pomiarowych w trybie automatycznym

Wzorcowanie mierników przyspieszenia, prędkości lub przemieszczenia drgań mechanicznych polega na wyznaczeniu błędów wskazań miernika dla znanych wartości przyspieszenia (prędkości lub przemieszczenia) i częstotliwości drgań mechanicznych, doprowadzonych do miernika, określonych w zależności od masy przetwornika miernika. Pomiary przeprowadza się metodą porównawczą z wzorcowym przetwornikiem odniesienia, zgodnie z normą [34]. Największe wartości przyspieszenia możliwe do uzyskania na stanowisku zależą od zakresu częstotliwości drgań i zastosowanego wzbudnika, każdorazowo uzgadniane z klientem.

Pomiary przeprowadzane są w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w Laboratorium.

Wzorcowanie mierników drgań mechanicznych działających na człowieka dotyczy na tym stanowisku tylko drgań przenoszonych przez kończyny górne. Wzorcowanie jest przeprowadzane w ramach badań okresowych mierników zgodnie z normą [38] (za wyjątkiem badań dla drgań skrętnych) i obejmuje: sprawdzenie wskazań i regulację czułości wejściowej miernika, wyznaczenie błędów jego charakterystyk częstotliwościowych oraz błędów liniowości. Pomiary wykonuje się za pomocą sygnałów drgań sinusoidalnych, wytwarzanych przez właściwy wzbudnik drgań, stosując metodę porównawczą z wykorzystaniem wzorcowego przetwornika drgań (wzorca roboczego).



Układ do wzorcowania mierników drgań w trybie automatycznym:

- |                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1 – przetwornik miernika       | 5 – wzбудnik drgań                      |
| 2 – wzorcowany miernik         | 6 – wzmacniacz mocy                     |
| 3 – wzorcowy przetwornik drgań | 7 – generator sygnałowy/przetwornik A/C |
| 4 – wzmacniacz                 |   |

Pomiary przeprowadzane są w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w Laboratorium.

### Układ do wzorcowania nietypowych przetworników drgań i zestawów pomiarowych, metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 2 kHz

Układ służy do wzorcowania:

- przetworników drgań mechanicznych ładunkowych lub IEPE oraz zestawów pomiarowych o nietypowej konstrukcji lub dużej masie,
- przetworników elektrodynamicznych,
- mierników drgań maszyn wyposażonych w nietypowe przetworniki drgań,
- przetworników/zestawów pomiarowych wymagających wzorcowania w pozycji poziomej.

Istotnymi elementami układu są wzбудniki drgań Robotron typ 11075 umożliwiające wzorcowanie:

- przetworników ładunkowych i IEPE oraz zestawów pomiarowych o wartościach czułości od  $1 \text{ pC m}^{-1} \text{ s}^2$  ( $1 \text{ mV m}^{-1} \text{ s}^2$ ) do  $1000 \text{ pC m}^{-1} \text{ s}^2$  ( $1 \text{ V m}^{-1} \text{ s}^2$ ) oraz
- przetworników elektrodynamicznych o wartościach czułości od  $10 \text{ mV mm}^{-1} \text{ s}$  do  $50 \text{ mV mm}^{-1} \text{ s}$ .

Wzorcowanie przetworników i zestawów pomiarowych polega na wyznaczeniu ich czułości metodą porównawczą z wzorcowym przetwornikiem odniesienia, zgodnie z normą [34], w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 2 kHz. Zakres częstotliwości i wartości drgań, dla jakich wykonuje się wzorcowanie określonego przetwornika, zależą od jego masy i maksymalnej siły wytwarzanej przez wzbudnik i są uzgadniane z klientem.

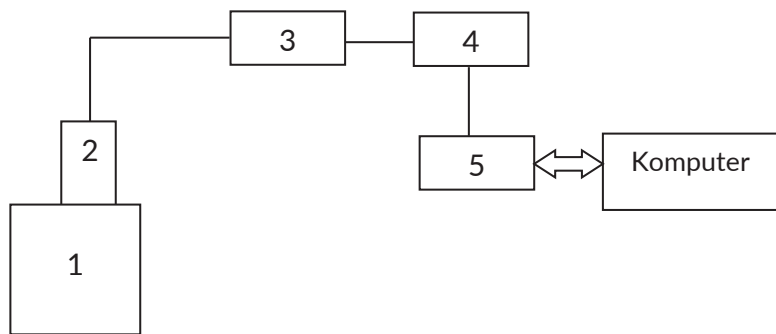
Pomiary przeprowadzane są w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w Laboratorium.

## Układ do wzorcowania kalibratorów drgań mechanicznych

Układ służy do wzorcowania kalibratorów wytwarzających drgania sinusoidalne o jednej wartości przyspieszenia i częstotliwości oraz kalibratorów, które umożliwiają wybór wartości przyspieszenia i częstotliwości drgań wytwarzanych przez kalibrator (kalibratory wieloczęstotliwościowe).

Wzorcowane są kalibratory wytwarzające drgania o częstotliwościach z zakresu od 10 Hz do 630 Hz i wartości skutecznej przyspieszenia od 3 m/s<sup>2</sup> do 500 m/s<sup>2</sup>. Typowe kalibratory wytwarzają drgania o wartości skutecznej przyspieszenia 10 m/s<sup>2</sup> i częstotliwościach 159,2 Hz lub 79,6 Hz oraz 1 m/s<sup>2</sup> i częstotliwości 16 Hz.

Pomiary przeprowadza się w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania, opracowanego w Laboratorium.



- 1 – kalibrator wzorcowany
- 2 – przetwornik wzorcowy
- 3 – wzmacniacz ładunkowy
- 4 – przetwornik A/C
- 5 – rozgąłęziacz USB

Układ do wzorcowania kalibratorów drgań w trybie automatycznym

Wzorcowanie polega na pomiarze przyspieszenia (prędkości, przemieszczenia) oraz częstotliwości drgań wytwarzanych przez kalibrator za pomocą wzorca roboczego, który stanowi wzorcowy przetwornik drgań z przedwzmacniaczem, wzorcowany na stanowisku wzorca państwowego wielkości drgań mechanicznych. Dodatkowo mierzone są zniekształcenia całkowite drgań wytwarzanych przez kalibrator.

Najlepsza wartość niepewności rozszerzonej wzorcowania kalibratorów drgań mechanicznych wynosi 0,6 %.

## Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodą porównawczą w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 200 Hz



Stanowisko do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych w zakresie małych częstotliwości

Stanowisko służy do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 200 Hz, metodą porównawczą, zgodnie z normą odpowiednio [34] lub [38]. Zasadniczymi elementami stanowiska są:

- wzbudnik APS typ 500, wytwarzający drgania o kierunku poziomym, zamocowany na metalowej podstawie posadowionej na betonowo-granitowym postumencie,
- wzbudnik APS typ 113AB, wytwarzający drgania o kierunku pionowym, zamocowany pionowo do bocznej ściany betonowo-granitowego postumentu,
- przetworniki drgań: PCB typ 3701G2FA3G (2 szt.), Endevco typ 7751-500, Endevco typ 7752-1000,
- wzmacniacze mocy APS-SPEKTRA typ APS 125 (2 szt.),
- generatory SVANTEK typ SVAN 401 (2 szt.),
- przetworniki A/C: TiePie Engineering typ HS3-AWG-5, ADLINK Technology typ PCI-9527 (przy pomiarach sterowanych komputerowo),
- woltomierze Rohde-Schwarz typ URE 3 (2 szt.),
- wzmacniacze B&K typ 2692, 2647B (2 szt.).

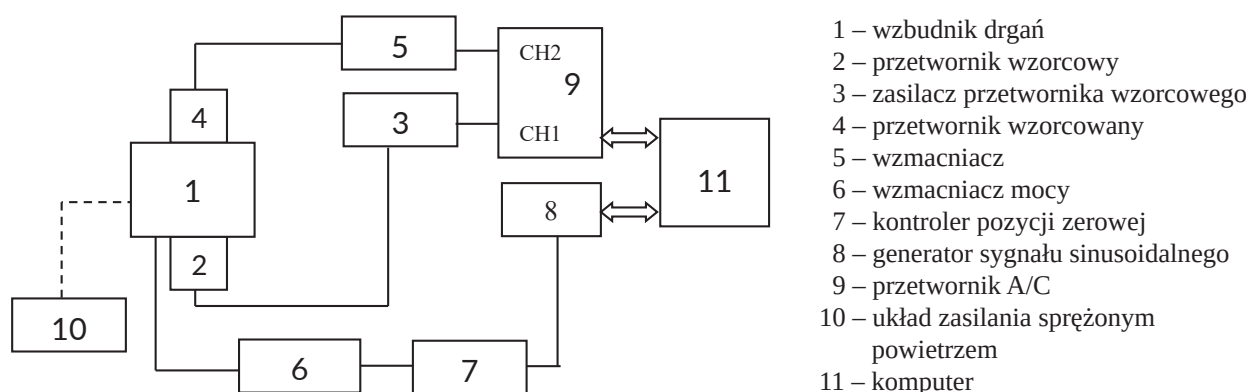
Stanowisko wymaga zasilania sprężonym powietrzem, co zapewnia sprężarka typ ATLAS COPCO, dostarczająca powietrze o wymaganym ciśnieniu do wzbudnika powietrznego, poprzez zbiornik wyrównawczy i reduktory. Stanowisko znajduje się w pomieszczeniu klimatyzowanym, w którym utrzymywana jest temperatura powietrza  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na stanowisku wzorcowane są:

- przetworniki drgań mechanicznych ładunkowe i IEPE,
- zestawy pomiarowe, składające się z przetworników drgań mechanicznych i wzmacniaczy zewnętrznych,
- mierniki drgań mechanicznych, w tym mierniki drgań działających na człowieka, z przetwornikami drgań,
- inne zestawy do pomiaru wielkości drgań mechanicznych z przetwornikami drgań.

Wzorcowanie przetworników drgań lub zestawów pomiarowych polega na wyznaczeniu ich czułości metodą porównawczą z wzorcowym przetwornikiem odniesienia w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 200 Hz. Wzorcowane są:

- przetworniki ładunkowe o czułości od  $0,1\text{ pC m}^{-1}\text{ s}^2$  do  $1000\text{ pC m}^{-1}\text{ s}^2$ ,
- przetworniki IEPE i zestawy pomiarowe o czułości od  $0,2\text{ mV m}^{-1}\text{ s}^2$  do  $1\text{ V m}^{-1}\text{ s}^2$ .

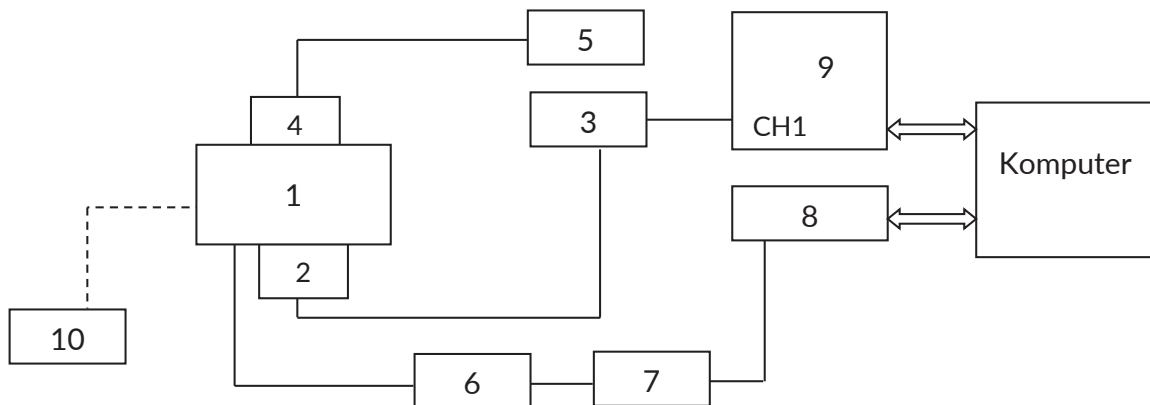
Pomiary przeprowadzane są w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania opracowanego w Laboratorium.



Układ do wzorcowania przetworników drgań w trybie automatycznym

Wzorcowanie mierników drgań działających na człowieka, w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 200 Hz dotyczy tylko mierników drgań o działaniu ogólnym. Wzorcowanie jest przeprowadzane w ramach badań okresowych mierników zgodnie z normą [38] (za wyjątkiem badań dla drgań skrętnych) i obejmuje: sprawdzenie wskazań i regulację czułości wejściowej miernika, wyznaczenie błędów jego charakterystyk częstotliwościowych oraz błędów liniowości. Pomiary wykonuje się za pomocą sygnałów drgań sinusoidalnych, wytwarzanych przez właściwy wzbudnik drgań, stosując metodę porównawczą z wykorzystaniem wzorcowego przetwornika drgań (wzorca roboczego).

Pomiary wykonuje się w trybie ręcznym lub automatycznym, z wykorzystaniem oprogramowania, opracowanego w Laboratorium.



Układ do wzorcowania mierników drgań działających na człowieka w trybie automatycznym:

- |                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 1 – wzbudnik drgań                    | 6 – wzmacniacz mocy                       |
| 2 – przetwornik wzorcowy              | 7 – kontroler pozycji zerowej             |
| 3 – zasilacz przetwornika wzorcowego  | 8 – generator sygnału sinusoidalnego      |
| 4 – przetwornik wzorcowanego miernika | 9 – przetwornik A/C                       |
| 5 – wzorcowany miernik                | 10 – układ zasilania sprężonym powietrzem |







Warszawa, 2020