

Danuta DOBROWOLSKA, Joanna KOLASA
Główny Urząd Miar

DZIAŁALNOŚĆ GŁÓWNEGO URZĘDU MIAR W DZIEDZINIE AKUSTYKI I DRGAŃ NA TLE POTRZEB SPOŁECZNYCH I GOSPODARCZYCH POLSKI

W niniejszej pracy przedstawiono w zarysie ponad 40-letnią historię działalności Głównego Urzędu Miar w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych. Obecne możliwości GUM w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej przedstawiono na tle potrzeb społecznych i gospodarczych Polski w tych dziedzinach. Wskazano na obszary wymagające rozwoju na drodze prac badawczo-rozwojowych, zapisanych w strategii GUM.

Słowa kluczowe: akustyka, drgania mechaniczne, wzorcowanie, wzorzec pierwotny, wzorzec wtórny

1. HISTORIA METROLOGII AKUSTYCZNEJ I DRGAŃ MECHANICZNYCH W GUM

Prace z zakresu metrologii akustycznej i drgań mechanicznych zapoczątkowane zostały w Polsce we wczesnych latach 70-tych XX w. Z inicjatywy dwóch polskich naukowców, prof. Zbigniewa Engela (AGH) oraz prof. Adama Lipowczana (GIG), prowadzących badania w zakresie zagrożeń wibroakustycznych w przemyśle, powstały w Polskim Komitecie Normalizacji i Miar (Główny Urząd Miar nie istniał wówczas formalnie) Laboratorium Pomiarów Elektroakustycznych i Laboratorium Pomiarów Drgań Mechanicznych. Głównym zadaniem tych laboratoriów była kontrola metrologiczna przyrządów do pomiarów akustycznych i drgań mechanicznych. Inicjatywa ta była reakcją na poważny i narastający w tamtym okresie problem narażenia pracowników na nadmierny hałas i drgania mechaniczne na stanowiskach pracy w niektórych działach przemysłu. Utrata słuchu, wynikająca z długotrwałej ekspozycji na hałas o dużych wartościach ciśnienia akustycznego, była w Polsce przez lata na pierwszym miejscu na liście chorób zawodowych.

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych działalność laboratoriów była skupiona głównie na metrologii prawnej. Przyrządy do pomiaru dźwięku i drgań mechanicznych były wprowadzane na rynek na podstawie zatwierdzenia do produkcji seryjnej lub zgody na import, a następnie podlegały obowiązkowi legalizacji. Nie zanedbano jednak w tym okresie problemu spójności pomiarowej, której źródłem były wzorce producenta wyposażenia pomiarowego – firmy Brüel & Kjaer. Na początku lat 80-tych podjęto pierwsze udane próby odtwarzania jednostki ciśnienia akustycznego poprzez wzorcowanie mikrofonów pomiarowych metodą wzajemności oraz pierwsze, ale nie do końca satysfakcjonujące, próby zbudowania stanowiska pomiarowego umożliwiającego wzorcowanie przetworników drgań w sposób bezwzględny, z wykorzystaniem interferometrii laserowej.

Zmiany ustrojowe w Polsce po roku 1989, reaktywowanie Głównego Urzędu Miar, ustawa z dnia 3 kwietnia 1993 r. Prawo o miarach oraz utworzenie Samodzielnego Laboratorium Akustyki i Drgań rozpoczęły nowy etap w historii metrologii akustycznej i drgań mechanicznych w Polsce. Początkowo dużą część działalności stanowiła nadal metrologia prawna, ale równolegle zaczęła się rozwijać i nabierać coraz większego znaczenia metrologia naukowa. 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. Dużą rolę w rozwoju Laboratorium Akustyki i Drgań odegrały szkolenia pracowników w NPL (Wlk. Brytania) i PTB (Niemcy), które miały miejsce w latach 90-tych. Niezwykle istotnym etapem była też budowa w 1998 r. wzorca pierwotnego ciśnienia akustycznego (zmodernizowanego w 2009 r.) oraz budowa w 2001 r. wzorca pierwotnego wielkości drgań mechanicznych (zmodernizowanego w 2013 r.). Wzorce umożliwiły udział w porównaniach kluczowych organizowanych przez Międzynarodowy Komitet Miar (CIPM) oraz Międzynarodowe Organizacje Metrologiczne (RMO), a także zgłoszenie i uznanie w ramach porozumienia CIPM MRA najlepszych możliwości pomiarowych (CMC). Zwieńczeniem aktywności GUM w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych na forum krajowym i międzynarodowym było przyjęcie GUM w 2004 r. w poczet członków Komitetu Doradczego ds. Akustyki, Ultradźwięków i Drgań (CCAUV) Międzynarodowego Komitetu Miar.

2. INFRASTRUKTURA METROLOGICZNA GUM W DZIEDZINIE AKUSTYKI W ŚWIETLE POTRZEB SPOŁECZNYCH I GOSPODARCZYCH

Rozwój metrologii akustycznej w GUM był zawsze powiązany z potrzebami społecznymi i gospodarczymi, wynikającymi z narastających zagrożeń środowiska naturalnego i środowiska pracy przez hałas, obowiązujących przepisów prawnych europejskich i krajowych, a także potrzeb polskich producentów aparatury akustycznej. Wraz z przystąpieniem Polski do UE wprowadzono do prawodawstwa polskiego dyrektywy ukierunkowane na zwiększenie efektywności walki z hałasem, dotyczące między innymi: oceny i zarządzania poziomem hałasu w środowisku (2002/49/WE), emisji hałasu do środowiska przez urządzenia używane na zewnątrz pomieszczeń (2000/14/WE), minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników narażonych na ryzyko spowodowane hałasem (2003/10/WE), hałasu wytwarzanego przez maszyny (2006/42/WE), a także homologacji wszelkich pojazdów silnikowych oraz certyfikacji statków powietrznych. Realizacja postanowień dyrektyw europejskich wymaga rzetelnych i wiarygodnych pomiarów hałasu, co pociąga za sobą konieczność powiązania wyników pomiarów hałasu z wzorcami ciśnienia akustycznego.

Obecna infrastruktura metrologiczna GUM w dziedzinie akustyki zaspokaja w zasadzie potrzeby dotyczące spójności pomiarowej w zakresie hałasu słyszalnego. Początek łańcucha spójności pomiarowej stanowi wzorzec pierwotny (państwowy) ciśnienia akustycznego, opracowany i zbudowany w NPL, Wlk. Brytania, który stanowią dwie triady laboratoryjnych mikrofonów wzorcowych klasy LS1P i LS2P (PN-EN 61094-1) oraz sterowane komputerowo stanowisko pomiarowe do wzorcowania mikrofonów metodą wzajemności w warunkach ciśnieniowych (PN-EN 61094-2). Stanowisko umożliwia wyznaczanie skuteczności mikrofonów w zakresie częstotliwości 2 Hz – 10 kHz (mikrofony LS1) oraz 20 Hz – 25 kHz (mikrofony LS2) z najmniejszą niepewnością rozszerzoną: 0,03 dB (moduł) i 0,7° (faza) – dla mikrofonów LS1 oraz 0,03 dB (moduł) i 0,6° (faza) – dla mikrofonów LS2. Właściwości wzorca były wielokrotnie potwierdzone w porównaniach kluczowych: CCAUV.A-K1, CCAUV.A-K3, CCAUV.A-K5, EUROMET.AUV.A-K1, COOMET.A-K1, COOMET.A-K3, COOMET.A-K5, AFRIMETS.A-S1.

Kolejnym ogniwem łańcucha spójności pomiarowej są wzorce wtórne: wzorcowe mikrofony robocze (PN-EN 61094-4), kalibratory akustyczne (PN-EN 60942) oraz symulatory ucha (PN-EN 60318-1) i sprzęgacze mechaniczne do pomiarów ze słuchawkami kostnymi (PN-EN 60318-6). Mikrofony robocze są wzorcowane przy częstotliwości nominalnej 250 Hz lub 1 kHz metodą porównania jednoczesnego z mikrofonem odniesienia w warunkach ciśnieniowych (PN-EN 61094-5). Charakterystykę częstotliwościową mikrofonu wyznacza się metodą pobudnika elektrostatycznego (PN-EN 61094-6), a następnie koryguje do warunków określonego pola akustycznego za pomocą

poprawek określonych przez producenta. Pomiary i obliczenia wykonuje się za pomocą systemu pomiarowego B&K Microphone Calibration System typ 9721 z oprogramowaniem typ 9649.

Wzorcowanie kalibratorów akustycznych obejmuje wyznaczenie poziomu ciśnienia akustycznego sygnału wytwarzanego przez kalibrator, a także pomiar jego częstotliwości i zniekształceń całkowitych. Stosowane są dwie metody. W pierwszej poziom ciśnienia akustycznego wyznacza się na podstawie wyniku pomiaru napięcia na otwartych zaciskach mikrofonu sprzężonego z kalibratorem oraz znanej skuteczności tego mikrofonu. Pomiary i obliczenia wykonuje się za pomocą systemu pomiarowego B&K PULSE typ 3560. W drugiej metodzie (porównawczej) poziom ciśnienia akustycznego wyznacza się na podstawie znanej wartości poziomu ciśnienia akustycznego kalibratora odniesienia oraz wyniku pomiaru napięcia na wyjściu układu mikrofonu z przedwzmacniaczem, przy pobudzeniu mikrofonu sygnałem kolejno z kalibratora odniesienia i z kalibratora o nieznanym poziomie. Pomiary i obliczenia wykonuje się automatycznie za pomocą systemu pomiarowego B&K PULSE typ 3560 z oprogramowaniem *Sound Calibrator Calibration Application Software* typ 7794.

Wzorcowanie symulatorów ucha powinno, zgodnie z PN-EN 60318-1, obejmować wyznaczenie czułości układu symulatora ucha z mikrofonem i przedwzmacniaczem oraz impedancji akustycznej symulatora ucha w funkcji częstotliwości. Dotychczasowe możliwości techniczne GUM umożliwiają jedynie wyznaczenie charakterystyki częstotliwościowej układu symulatora ucha metodą pobudnika elektrostatycznego. Metoda przedstawiona w PN-EN 60318-1 jest w trakcie wdrażania. Wzorcowanie sprzęgaczy mechanicznych polega na wyznaczeniu poziomu skuteczności przy stałej wartości siły dynamicznej oraz poziomu impedancji mechanicznej i kąta fazowego impedancji. Zastosowana metoda wzorcowania z wykorzystaniem głowicy impedancyjnej B&K typ 8000 jest metodą powszechnie stosowaną, zalecaną przez firmę Brüel & Kjaer, producenta sprzęgaczy mechanicznych typ 4930.

Najniżej w hierarchii wzorcowań są usytuowane przyrządy do pomiaru poziomu dźwięku: mierniki poziomu dźwięku, indywidualne mierniki ekspozycji na dźwięk, filtry pasmowe oraz przyrządy do badania i oceny słuchu: audiometry i tympanometry. GUM nie zajmuje się obecnie wzorcowaniem i badaniem okresowym tych przyrządów, ponieważ czynności te są wykonywane przez 7 laboratoriów akredytowanych w tym zakresie. Wyjątkiem są przyrządy do pomiarów w zakresie częstotliwości infradźwiękowych i ultradźwiękowych. Ponadto GUM wykonuje badania typu mierników poziomu dźwięku oraz inne badania i ekspertyzy przyrządów nietypowych.

3. INFRASTRUKTURA METROLOGICZNA GUM W DZIEDZINIE DRGAŃ MECHANICZNYCH W ŚWIETLE POTRZEB SPOŁECZNYCH I GOSPODARCZYCH

Rozwój metrologii drgań w GUM wynikał głównie z potrzeby ochrony zdrowia i bezpieczeństwa człowieka w jego środowisku pracy. Zapewnienie właściwych warunków pracy realizowane jest zarówno poprzez odpowiednie projektowanie i wykonanie maszyn, będących źródłem drgań, jak i poprzez wykorzystanie środków ochrony przed drganiami i właściwą organizację pracy. Realizacja postanowień dyrektyw europejskich, takich jak dyrektywa maszynowa (2006/42/WE) oraz dyrektywa w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi, w tym wibracji (2002/44/WE), wymaga rzetelnych pomiarów drgań z zachowaniem spójności pomiarowej.

Obecna infrastruktura metrologiczna GUM odpowiada potrzebom, dotyczącym zapewnienia spójności pomiarowej w zakresie pomiaru prostoliniowych drgań mechanicznych. Początek łańcucha spójności stanowi wzorzec pierwotny (państwowy) wielkości drgań mechanicznych (przyspieszenia, prędkości, przemieszczenia), którym jest sterowane komputerowo stanowisko niemieckiej firmy SPEKTRA, służące do wzorcowania przetworników drgań mechanicznych metodą bezwzględną zgodnie z ISO 16063-11. Wzorcowanie wykonuje się dla drgań o kierunku poziomym lub pionowym

w zakresie częstotliwości od 0,2 Hz do 200 Hz z najmniejszą niepewnością rozszerzoną 0,3 % (moduł) i 0,5 ° (faza) oraz dla drgań o kierunku pionowym w zakresie częstotliwości od 5 Hz do 20 kHz z najmniejszą niepewnością rozszerzoną 0,5 % (moduł) i 0,6 ° (faza). Właściwości wzorca były potwierdzone w wielu porównaniach kluczowych: EUROMET.AUV.V-K1, COOMET.V-K1, CCAUV.V-K2, EURAMET.AUV.V-K3 i CCAUV.V-K3.

Wzorce wtórne, stanowiące kolejne ogniwo łańcucha spójności pomiarowej, wykorzystywane są jako odniesienie przy wzorcowaniu przetworników drgań, kalibratorów i mierników drgań metodą porównawczą zgodnie z ISO 16063-21. Wzorcowanie przetworników drgań obejmuje wyznaczenie ich czułości przy wybranych częstotliwościach z zakresu od 0,25 Hz do 10 kHz. Wzorcowanie kalibratorów drgań mechanicznych obejmuje wyznaczenie wartości przyspieszenia drgań wytwarzanych przez kalibrator, a także pomiar częstotliwości i zniekształceń całkowitych. Wzorcowanie mierników drgań polega na wyznaczeniu błędów wskazań mierników przy wybranych częstotliwościach z zakresu od 0,25 Hz do 10 kHz i dla wybranej wartości sygnału drganiowego.

Odrębną grupę przyrządów stanowią mierniki drgań mechanicznych działających na człowieka. Pomiar wykonywane są zgodnie z PN-EN ISO 8041-1:2017 w zakresie określonym dla badań okresowych. GUM podejmuje się również, na wniosek wytwórców, wykonania badań i ekspertyz w szerszym zakresie, określonym w ww. normie dla badań typu.

Wszystkie stanowiska pomiarowe wykorzystywane do wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych metodą porównawczą są zautomatyzowane. GUM nadal wykonuje dużo wzorcowań i badań dla przyrządów do pomiaru drgań, gdyż zakres usług oferowanych przez laboratoria wzorcujące akredytowane w dziedzinie drgań nie zaspokaja w pełni potrzeb użytkowników.

W związku z potrzebą zapewnienia wsparcia metrologicznego dla przemysłu i instytucji zainteresowanych pomiarami drgań i uderzeń o bardzo dużych przyspieszeniach - w dziedzinie motoryzacji, transportu, górnictwa, wojska, budownictwa, w ostatnim czasie powstało w GUM zautomatyzowane stanowisko pomiarowe do wzorcowania metodą porównawczą przy pobudzeniu udarowym, zgodnie z ISO 16063-22. Zakres przyspieszenia udaru wynosi od 200 m/s² do 100 km/s². Impulsy udarowe w kształcie połowy sinusoidy wytwarzane są w wyniku uderzenia pneumatycznie sterowanego pocisku w kowadło. Stanowisko jest w obecnie fazie badań.

4. PLANY ROZWOJU METROLOGII AKUSTYCZNEJ I DRGAŃ MECHANICZNYCH W GŁÓWNYM URZĘDZIE MIAR

Mając na uwadze kierunki zmian w metrologii akustycznej i drgań, zapisane w dokumencie „Strategy 2017 to 2027. Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound, and Vibration (CCAUV)”, a także odpowiadając na pojawiające się nowe potrzeby społeczne i gospodarcze Polski w zakresie zapewnienia spójności pomiarowej i wsparcia metrologicznego, sformułowano i zapisano w strategii GUM na lata 2018 – 2021 zadania wymagające podjęcia prac badawczo – rozwojowych. Obejmują one: (1) poprawienie jakości badań audiologicznych w Polsce poprzez modernizację i rozbudowę stanowiska do wzorcowania symulatorów ucha oraz sprzęgaczy mechanicznych, a także wsparcie metrologiczne instytucji i laboratoriów zajmujących się wzorcowaniem i badaniem urządzeń audiometrycznych oraz ochroną i badaniami słuchu; (2) budowę infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w warunkach akustycznego pola swobodnego; (3) rozbudowę infrastruktury metrologicznej zapewniającej spójność pomiarową w zakresie częstotliwości infradźwiękowych; (4) zapewnienie możliwości wzorcowania przetworników cyfrowych stosowanych w dziedzinie akustyki i drgań mechanicznych; (5) zapewnienie spójności pomiarowej w dziedzinie ultradźwięków w zastosowaniach medycznych: budowa wzorca pierwotnego mocy ultradźwiękowej oraz wzorca wtórnego ciśnienia akustycznego w wodzie; (6) budowę infrastruktury metrologicznej w zakresie akustyki podwodnej. W kolejnych latach przewiduje się rozpoczęcie prac mających na

celu: (1) zapewnienie rzetelności pomiarów w zakresie bardzo dużych wartości ciśnienia akustycznego, związanych głównie z hałasem o charakterze impulsowym, towarzyszącym działalności wojskowej; (2) budowę wzorca pierwotnego w dziedzinie drgań mechanicznych w zakresie uderzeń; (3) budowę infrastruktury metrologicznej do wzorcowania przetworników sejsmicznych i geofonów, umożliwiającej wsparcie metrologiczne dla przemysłu i instytucji, zajmujących się pomiarami drgań o bardzo małych częstotliwościach – w dziedzinach takich jak górnictwo, budownictwo, transport szynowy, geologia, itp.