

## Pomiary drgań mechanicznych w GUM

### The measurements of vibrations in Central Office of Measures

O oddziaływaniu drgań mechanicznych na człowieka, o historii rozwoju dziedziny w GUM, a także o budowie wzorca drgań mechanicznych redakcja Biuletynu GUM rozmawia z Joanną Kolasą – Kierownikiem Pracowni Drgań w Samodzielnym Laboratorium Akustyki i Drgań GUM.

The article explains the field of development of the vibrations in GUM and the structure of the national standard of vibration. The interview with Joanna Kolasa – Head of Vibration Section in Laboratory of Acoustic and Vibration.

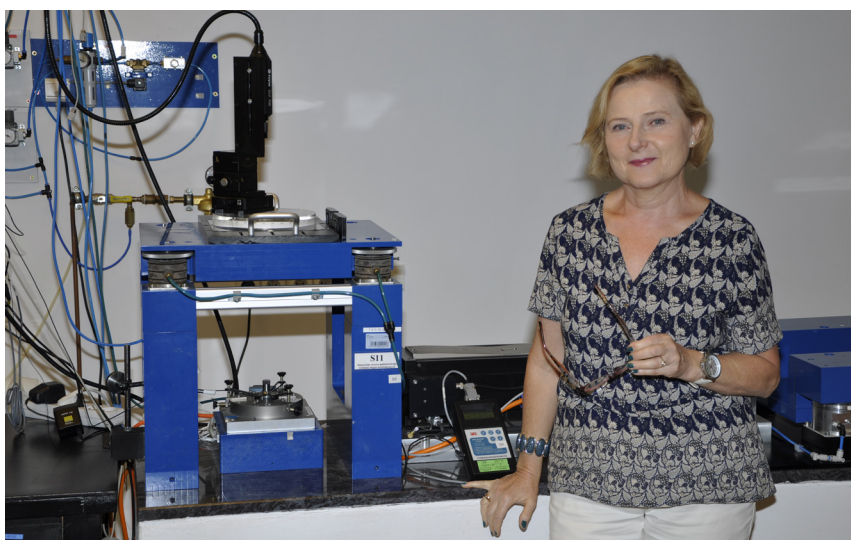
**Adam Żeberkiewicz:** – Od ponad roku (28 kwietnia 2017 r.) wzorzec wielkości drgań mechanicznych jest oficjalnie uznany państwowym wzorcem. A jak kiedyś odtwarzana była ta jednostka wielkości?

Joanna Kolasa: – W Polsce drgania to młoda dziedzina. Potrzeba dokładnego ich mierzenia pojawiła się dopiero w latach 50. i 60. ubiegłego wieku. Laboratorium Drgań w Głównym Urzędzie Miar powstało w 1974 roku, a inicjatywa jego powołania wyszła ze środowisk naukowych AGH (Kraków) i GIG (Katowice) i była reakcją na rosnący problem narażenia pracowników na drgania mechaniczne w środowisku pracy.

Stanowisko wzorca pierwotnego wielkości drgań mechanicznych, które obecnie ma status wzorca państwowego, zbudowane zostało w 2001 roku. Wcześniej jednostki wielkości drgań odtwarzane były w GUM metodą porównawczą (wtórną). Polegała ona na tym, że przetworniki i przyrządy do pomiaru drgań wzorcowane były poprzez porównanie z wzorcami odniesienia, te zaś były wzorcowane metodą bezwzględną (pierwotną) zagranicą – głównie w niemieckim instytucie metrologicznym (PTB).

Jeśli chodzi o skalę globalną, to największe tradycje w tej dziedzinie pomiarów, w Europie mają właśnie Niemcy, a także Dania, ze względu na działającą od ponad 100 lat duńską firmę Brüel & Kjær, która jest historycznym potentatem w pomiarach akustyki i drgań.

Muszę w tym miejscu wyraźnie zaznaczyć, że w przypadku drgań mechanicznych nie mamy do czynienia z jedną wielkością. Drgania mechaniczne są bowiem charakteryzowane przez trzy wielkości: przyspieszenie, prędkość i przemieszczenie, dodatkowym parametrem jest



częstotliwość drgań. Przy drganiach sinusoidalnych istnieje łatwe matematyczne przejście z przyspieszenia na prędkość i przemieszczenie. Przyjmuje się, że zasadniczą wielkością jest przyspieszenie, ale w zależności od potrzeb mierzy się również prędkość i przemieszczenie.

– **Powiedzmy, czym są drgania i kiedy się z nimi spotykamy. Czy rzeczywiście z drganiami mamy do czynienia cały czas, ale większości z nich nie odczuwamy?**

– Drgania mechaniczne to niskoczęstotliwościowe drgania akustyczne rozprzestrzeniające się w ośrodkach stałych. Są wszędzie wokół nas, choć czasami nie zdajemy sobie z tego sprawy. Te drgania, których praktycznie nie odczuwamy, mają bardzo niską amplitudę i z reguły bardzo niskie częstotliwości. Drgania mogą być zarówno pozytywne, jak i szkodliwe. Do tych pozytywnych i raczej przyjemnych zaliczamy na przykład drgania strun w instrumentach muzycznych, w efekcie czego słyszymy dźwięki i muzykę. Natomiast do równie użytecznych, ale już niekoniecznie przyjemnych należą drgania

wytwarzane w przemyśle, na przykład podczas prób odpornościowych, wytrzymałościowych czy też występujące w działaniu pasów transmisyjnych. Są wreszcie takie drgania, które występują w środowisku pracy człowieka i nie należą do przyjemnych, jak np. drgania, na które narażeni są kierujący różnego rodzaju pojazdami i maszynami jezdny, czy też operatorzy maszyn i narzędzi prowadzonych ręcznie. Potrzeba mierzenia tych zjawisk pojawiła się w momencie, kiedy zaczęto się zastanawiać nad uciążliwością lub szkodliwością drgań dla człowieka i zauważać potrzebę zapewnienia bezpieczeństwa w środowisku pracy. Wtedy też, chcąc poznać wartości drgań, na jakie narażony jest człowiek i określić wartości dopuszczalne, rozpoczęto pomiary drgań.

**– Potocznie zdarza się nam powiedzieć, że jakies drgania są głośne – czy ta skala jest porównywalna z akustyczną?**

– Raczej nie mówimy, że drgania są głośne, chociaż rzeczywiście możemy je usłyszeć. Zależy to od częstotliwości i amplitudy drgań. Drgania niskoczęstotliwościowe słyszymy jako niskie, buczące dźwięki, drgania o częstotliwości rzędu kilkuset herców odbieramy jako pisk. W związku z tym, że w tej dziedzinie mamy do czynienia z trzema wielkościami (przyspieszeniem, prędkością i przemieszczeniem), to może być tak, że drgania o dużym przemieszczeniu i małej częstotliwości są jednocześnie drganiami o bardzo małym przyspieszeniu. Skala wartości jest ogromna. Przykładowo drgania spowodowane aktywnością sejsmiczną są charakteryzowane przez przyspieszenie około  $100 \mu\text{m/s}^2$ , pracownicy posługujący się młotami pneumatycznymi przyjmują na ręce drgania o wartościach przyspieszenia dochodzących nawet do  $100 \text{ km/s}^2$ . Wynika z tego, że muszą istnieć przetworniki drgań, które mierzą drgania o bardzo niskich wartościach przyspieszenia, niskich częstotliwościach i takie, które mierzą wysokie wartości drgań. Inne przetworniki drgań służą do pomiaru niskoczęstotliwościowych drgań w budynkach, a inne do pomiaru drgań na uchwytach drgających narzędzi prowadzonych ręcznie.

**– I do ochrony służą pracownikom rękawice antywibracyjne?**

– Tak. Właściwości wibroizolacyjne materiałów stosowanych do wyrobu takich rękawic bada Centralny Instytut Ochrony Pracy (CIOP). Z rękawicami jest jednak pewien kłopot. Nawet jeśli stosuje się dobry materiał izolacyjny jako warstwę, która zabezpiecza człowieka przed drganiami, to problemem może być brak odpowiedniego komfortu dla operatora. Rękawica powoduje, że pracownik nie trzyma narzędzia odpowiednio mocno, gdyż

przeszkadza mu ta właśnie warstwa izolacyjna, zmieniająca jednocześnie warunki prowadzenia narzędzia. Drugą kwestią problemową jest to, że bardzo trudno jest poprawnie zmierzyć drgania odbierane przez pracownika, który na przykład trzyma rękojeść młota udarowego. Żeby dobrze je zmierzyć, trzeba by przetwornik drgań mocno i stabilnie zamocować do ręki, dokładnie w miejscu chwytu narzędzia, a takie zamocowanie powoduje dyskomfort i mimowolną zmianę sposobu trzymania narzędzia. Nie jest również właściwe zamocowanie przetwornika drgań bezpośrednio do drgającego narzędzia, gdyż wówczas mierzone są drgania źródła, a nie te odbierane przez operatora. Tak więc trudno jest dobrze zmierzyć drgania docierające do ciała człowieka przez jego ręce. Nieco łatwiej jest zmierzyć drgania odbierane przez całe ciało, w sytuacji kiedy osoba stoi lub siedzi na drgającym podłożu (np. człowiek na drgającej platformie, kierowca w pojeździe). Trzeba zaznaczyć, że w przypadku pomiaru drgań na siedziskach pojazdów, poprawność pomiaru w dużym stopniu zależy od uczciwości człowieka. Przetwornik drgań umieszczony pod siedzeniem kierowcy w pojeździe „na biegu” mierzy bowiem drgania niezależnie od tego, czy kierowca siedzi w pojeździe i jest narażony na drgania, czy zrobił sobie przerwę i wysiadł, nie wyłączając silnika.

**– Jaki poziom drgań przestaje być bezpieczny dla człowieka?**

– Najbardziej niebezpieczne dla całego organizmu człowieka są drgania o niskich częstotliwościach. Na przykład drgania o częstotliwości kilku herców są groźne dla narządów wewnętrznych znajdujących się w jamie brzusznej, klatce piersiowej, a drgania o częstotliwości kilkudziesięciu herców źle wpływają na kończyny, przy czym kluczowa jest wartość działających drgań oraz czas trwania narażenia. Pracodawca, który zleca i nadzoruje pracę, powinien brać pod uwagę wartości dopuszczalne drgań i wartości progów działania, określone odrębnie dla drgań o działaniu ogólnym i dla drgań przenoszonych przez kończyny górne. Na człowieka zawsze jednocześnie działają drgania w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach, umownie nazywanych osiami XYZ. Żeby zmierzyć wartość drgań dla tych trzech składowych kierunkowych stosuje się trójosiowe przetworniki drgań. Zmierzone wartości drgań są porównywane z wartościami normatywnymi. Jeżeli odpowiednio zmierzona i przeliczona (do tego celu służą specjalne mierniki drgań z wbudowanymi filtrami korekcyjnymi) wartość drgań działających przez kończyny górne, uśredniona dla trzech kierunków XYZ, przekroczy  $2,5 \text{ m/s}^2$  lub przekroczy  $0,5 \text{ m/s}^2$  w przypadku drgań o działaniu ogólnym, czyli jest większa niż wartości tzw. progów działania, to pracodawca musi przedsięwziąć konkretne



kroki, np. w postaci zaopatrzenia pracownika w środki ochronne, czy skrócenia czasu pracy na tym stanowisku. Nie mogą zostać przekroczone wartości dopuszczalne drgań ustalone we właściwych normach, zarówno dla dziennej, jak i krótkotrwałej ekspozycji na drgania. Wartości te wynoszą odpowiednio  $2,8 \text{ m/s}^2$  (dawka dzienna) i  $11,2 \text{ m/s}^2$  (ekspozycja krótkotrwała) dla drgań działających przez kończyny górne oraz  $0,8 \text{ m/s}^2$  (dawka dzienna) i  $3,2 \text{ m/s}^2$  (ekspozycja krótkotrwała) dla drgań o działaniu ogólnym. Warto zwrócić uwagę na fakt, że wartości normatywne zostały ustalone dość dawno temu i wydaje się, że potrzebna byłaby ich aktualizacja. Do tego niezbędna jest współpraca wszystkich instytucji zajmujących się zdrowiem człowieka i zagrożeniem drganiami na stanowiskach pracy.

### – Jak wygląda piramida spójności jednostki wielkości drgań mechanicznych?

– Na samym dole piramidy znajdują się przyrządy pomiarowe bezpośrednio mierzące drgania obiektów. Jest więc przetwornik drgań mechanicznych, który odbiera sygnał mechaniczny od drgającego obiektu i przetwarza na sygnał elektryczny, przekazywany do dalszej obróbki. Jest zestaw pomiarowy, w skład którego wchodzi przetwornik drgań i odpowiedni wzmacniacz. Są mierniki drgań, w tym miernik drgań maszyn, którego nazwa nie jest może do końca odpowiednia, bo miernikiem tym mierzy się drgania nie tylko maszyn. Chodzi jednak o to, żeby odróżnić go od specyficznej grupy mierników drgań działających na człowieka, mających nieco inną konstrukcję. Mierniki drgań maszyn pozwalają mierzyć drgania wytwarzane przez maszyny i urządzenia oraz drgania np. w budynkach i innych obiektach. Jest to zatem bardzo szeroka grupa zastosowań. Przyrządem wykorzystywanym przy pomiarach drgań jest kalibrator drgań mechanicznych, czyli wzorcowe źródło drgań – mały, z reguły przenośny wzbudnik drgań, który służy do zweryfikowania właściwości metrologicznych układu pomiarowego, czyli sprawdzenia przed pomiarem, czy cały układ działa poprawnie. Te przyrządy tworzą najniższy poziom piramidy.

Na wyższym poziomie mamy wzorce robocze, czyli przetworniki drgań wykorzystywane do wzorcowania przetworników do zastosowań użytkowych. W odróżnieniu od takiej dziedziny jak masa, w której wzorcem jest nadal odważnik, w drganiach nie ma takiego materialnego wzorca. Do przenoszenia wartości drgań służy wzorcowy przetwornik drgań o odpowiednich właściwościach metrologicznych i dużej stabilności. Do przekazywania jednostki stosuje się metodę porównawczą przedstawioną w normie ISO 16063-21. Zasadę tej metody można opisać w następujący sposób: po poddaniu dwóch przetworników

(wzorcowego i tego o nieznannej czułości) drganiom o tych samych wartościach, mierzone są sygnały wyjściowe z obu przetworników, a znając czułość wzorcowego przetwornika drgań możemy określić parametry przetwornika wzorcowanego. Czułość przetwornika definiowana jest jako stosunek sygnału wyjściowego z przetwornika drgań (np. ładunku lub napięcia) do sygnału wejściowego (np. przyspieszenia drgań, jakim poddany jest przetwornik).

Na samej górze piramidy znajduje się stanowisko wzorca pierwotnego, na którym metodą bezwzględną, czyli z odniesieniem do podstawowych jednostek układu SI, takich jak: metr, sekunda, wolt i kilogram, wzorcuje się, zgodnie z normą ISO 16063-11, wzorcowe przetworniki drgań, będące wzorcami roboczymi lub wzorcami odniesienia w laboratoriach wzorcujących (wyznacza się ich czułość w zakresie częstotliwości pracy). Ścieżka jest więc dość krótka i taki jest też schemat przekazywania wartości jednostki: na pierwszym szczeblu znajduje się wzorzec pierwotny i metoda bezwzględna, potem są wzorce robocze i metoda porównawcza, wreszcie dochodzimy do przyrządów użytkowych.

### – Wróćmy do początków dziedziny i spróbujmy przedstawić, jak kiedyś zbudowany był wzorzec i jak to się zmieniło przez lata?

– Przełomową datą w dziejach metrologii drgań w Polsce był rok 2001, w którym zbudowane zostało w GUM stanowisko wzorca pierwotnego wielkości drgań mechanicznych. Wcześniej wzorce odniesienia GUM, czyli wzorcowe przetworniki drgań były wzorcowane w PTB. Za ich pomocą i znając ich parametry, metodą porównawczą wzorcowaliśmy w GUM własne wzorce robocze, z wykorzystaniem których przeprowadzaliśmy w GUM wzorcowania tzw. przyrządów użytkowych. W tym czasie przyrządy do pomiaru drgań były objęte prawną kontrolą metrologiczną, a więc obowiązkowe było zatwierdzenie typu, legalizacja i uwierzytelnienie przetworników, mierników i kalibratorów drgań mechanicznych.

W 2008 roku podjęto w GUM decyzję o dostosowaniu się do zasad panujących w większości krajów europejskich, gdzie przyrządy do pomiaru drgań nie były objęte prawną kontrolą metrologiczną. Była to dobra decyzja ze względu na fakt, że dla większości rodzajów przyrządów do pomiaru drgań nie były opracowane normy, które stanowiłyby podstawę do badań, wykonywanych w ramach prawnej kontroli metrologicznej i które umożliwiałyby ocenę wyników tych badań. Wcześniej legalizacja była prowadzona w GUM w oparciu o normy opracowane jeszcze w latach 70. w Głównym Instytucie Górnictwa. Z czasem okazały się one nieprzystające do nowych wymagań i nowych rodzajów przyrządów pomiarowych. Po

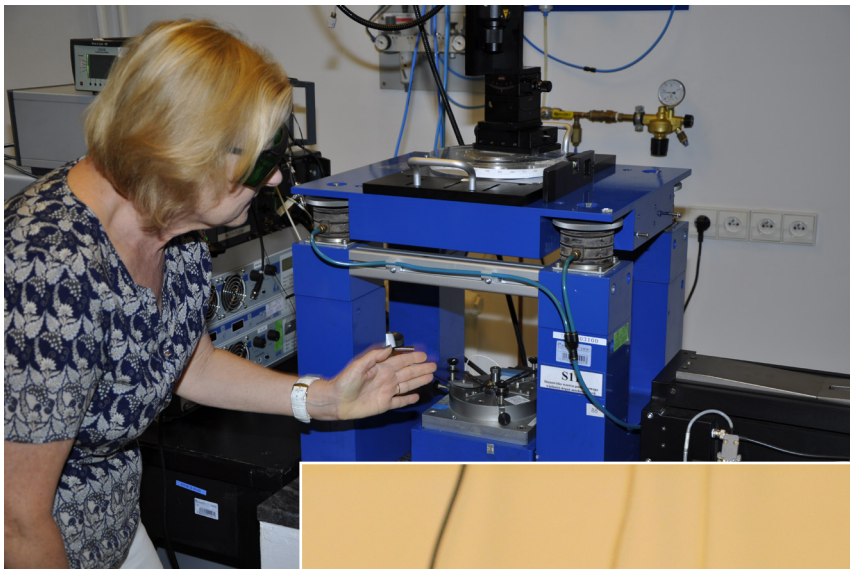
wyłączeniu przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych z obszaru metrologii prawnej, ich okresową weryfikację i kontrolę właściwości metrologicznych wymusił poniekąd postępujący proces akredytacji laboratoriów. Laboratorium badawcze lub wzorcujące, akredytowane przez PCA, jest bowiem zobowiązane sprawować, zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025, nadzór nad własnym wyposażeniem pomiarowym, a więc poddawać okresowemu wzorcowaniu.

Jak już wcześniej wspomniałam, do 2001 roku wykonywaliśmy w naszym laboratorium wzorcowania i badania przyrządów do pomiaru drgań metodą porównawczą, wykorzystując jako wzorce odniesienia przetworniki drgań wzorcowane w PTB. Ale o tym, żeby uniezależnić się od zagranicznych NMI i zacząć stosować we wzorcowaniu metodę pierwotną, myśleliśmy już wcześniej. Nie było na to jednak środków finansowych. W 1999 roku skorzystaliśmy z funduszu PHARE, który dawał możliwość zasięgnięcia porady eksperta zagranicznego. Dzięki temu przyjechał do nas dr Hans-Jürgen von Martens z PTB, światowej klasy specjalista w dziedzinie metrologii drgań, który, po poznaniu naszych potrzeb i możliwości, nakreślił trzy możliwe ścieżki budowy wzorca pierwotnego wielkości drgań mechanicznych. Pierwsza z nich to samodzielna budowa wzorca. Do jej realizacji konieczne było posiadanie odpowiedniego zaplecza technicznego

oraz zespołu ludzi, specjalistów w zakresie mechaniki, elektroniki, optyki, informatyki. Taką drogą poszli Niemcy przy budowaniu własnego wzorca pierwotnego. Oczywiście możliwości finansowe PTB były nieporównywalnie większe, poza tym w Niemczech istnieje ścisła współpraca NMI z przemysłem i instytucjami naukowymi. U nas stanowiło to problem. Mimo, że w GUM działały warsztaty (mechaniczny, elektryczny), to brakowało specjalistycznego zaplecza technicznego i zespołu fachowców, w tym elektroników, optyków, informatyków, którzy mogliby sprostać wyzwaniu. Ta ścieżka musiała więc zostać pominięta.

Drugim możliwym kierunkiem był zakup gotowego stanowiska pomiarowego, wybranego spośród systemów już oferowanych na rynku. Różnice przeprowadzone w różnych firmach, m.in. Brüel & Kjær (Dania), Endevco (USA), pozwoliło na poznanie zarówno produktów oferowanych przez te firmy, jak i ich cen. Te ostatnie przekraczały, niestety, możliwości finansowe GUM, poza tym nie wszystkie proponowane rozwiązania były wystarczająco nowoczesne.

I na koniec przedstawiono nam ofertę wkraczającej wówczas na rynek firmy Spektra z Drezna, która proponowała bardzo nowoczesne rozwiązania techniczne. Były one oparte o metodę, dającą najszersze możliwości pomiarowe spośród przedstawionych w normie ISO



16063-11:1999 Methods for the calibration of vibration and shock transducers – Part 11: *Primary vibration calibration by laser interferometry*. Ważna była także cena, która okazała się dla nas akceptowalna. Jedynym czynnikiem wywołującym u nas pewien niepokój był wówczas fakt, że firma Spektra nie była szerzej znana na metrologicznym rynku. Zdecydowaliśmy się jednak podjąć ryzyko, mimo że była to dla nas zupełna niewiadoma i zarazem poligon doświadczalny. Ale dla firmy Spektra też, bo byliśmy pierwszym NMI, któremu sprzedali system. Z perspektywy minionych 17 lat okazało się to dla wszystkich bardzo dobrą decyzją. System zainstalowany w GUM jest nadal nowoczesny i cały czas rozwijany we współpracy z producentem. Jego jakość została dotychczas potwierdzona w licznych porównaniach międzynarodowych, kluczowych i regionalnych (CCAUV.V-K2, EUROMET.AUV.V-K1, EURAMET.AUV.V-K3, COOMET.AUV.V-K1).

### – Czy wszędzie na świecie wzorzec wielkości drgań mechanicznych jest jednakowo zbudowany?

– W normie ISO 16063-1, dotyczącej wzorcowania przetworników drgań mechanicznych metodą bezwzględną, przedstawione są wymagania, jakim powinien odpowiadać wzorzec pierwotny wielkości drgań mechanicznych. Sposób jego realizacji może być różny, jeśli tylko spełnione są wymagania określone w normie: wzorcowanie ma być realizowane jedną z wymienionych metod interferometrii laserowej (zliczanie prążków interferencyjnych, metoda miejsc zerowych, metoda aproksymacji), musi istnieć powiązanie z jednostkami wielkości podstawowych układu SI (długość, czas, napięcie, masa). W PTB – instytucie metrologicznym wiodącym w dziedzinie drgań – system pomiarowy został zrealizowany, jako układ powiązanych ze sobą elementów optycznych i elektronicznych, sterowanych komputerowo, posadowionych na dużym stole pomiarowym – i działa to doskonale. Firma Spektra zbudowała system z integralnych przyrządów, w większości własnej konstrukcji, pozostałe powstały w wyniku współpracy z innymi firmami (wzбудniki drgań – z Endevco i APS, wibrometr laserowy – z Polytec), stworzyła też własne profesjonalne oprogramowanie. Kupiliśmy zatem kompletne wyposażenie pomiarowe z oprogramowaniem. Do GUM należało przygotowanie otoczenia dla tych przyrządów. Potrzebne było klimatyzowane pomieszczenie w piwnicy budynku, z postumentem wibroizolacyjnym, następnie doprowadzenie tam sprężonego powietrza niezbędnego do sterowania wzbudnikami drgań i kolejnymi stopniami wibroizolacji. Po wykonaniu tych prac, pod koniec 2001 roku, sprzęt został dostarczony i zainstalowany. W 2002 roku mogliśmy już po raz pierwszy uczestniczyć w porównaniu

międzynarodowym, jakim było regionalne porównanie EUROMET.AUV.V-K1. We wcześniejszym porównaniu kluczowym CCAUV.V-K1 nie mogliśmy wziąć udziału, bo dotyczyło wzorcowania metodą pierwotną, a wtedy nie było jeszcze w GUM wzorca pierwotnego. Udział w EUROMET.AUV.V-K1 okazał się być doskonałą, pozytywną weryfikacją naszych kompetencji technicznych, zarówno od strony sprzętowej, jak i odnoszących się do wiedzy i umiejętności personelu.

### – Jak często powinna się odbywać modernizacja wzorca państwowego? Czy może Pani określić, po jakim czasie sprzęt staje się nienowoczesny, a może wadliwy?

– Zaczniemy od budowy stanowiska wzorca pierwotnego. U podłoża konstrukcji znajduje się betonowa podstawa, wkopana na 70 cm do gruntu, odizolowana od reszty budynku, obciążona płytą granitową. Dlaczego stanowisko znajduje się w piwnicy i jest posadowione na ciężkiej podstawie? Chodzi o to, żeby odciąć się od wszystkich niepożądanych drgań zewnętrznych, które mogłyby zakłócić pomiary. Jednocześnie konieczne było odizolowanie wzbudników, które same z siebie wytwarzają drgania, w taki sposób, aby ich działanie nie zakłócało pracy urządzeń optycznych.

Na tak wykonanym postumencie, oprócz wzbudnika drgań, zamocowana jest głowica wibrometru laserowego wraz z systemem wibroizolacji, który stanowią poduszki powietrzne, zabezpieczające elementy optyczne przed drganiami pochodzącymi ze wzbudnika. Na stole drgającym wzbudnika mocuje się wzorcowany przetwornik drgań, którego parametry (czyli czułość) chcemy wyznaczyć. Przetwornik poddawany jest kontrolowanym drganiom sinusoidalnym, których wartości (magnituda i faza) mierzone są metodami interferometrycznymi. Promień światła laserowego kierowany jest na wypolerowaną, odbijającą powierzchnię przetwornika lub powierzchnię mocowania. Jednocześnie mierzone jest napięcie wyjściowe z przetwornika wzorcowanego. Zgodnie z zasadą interferometrii, należy zapewnić takie wzajemne ustawienie elementów mechanicznych i optycznych, by promień odbił się i wrócił po tej samej drodze optycznej.

Stanowisko wzorca jest systematycznie modyfikowane i modernizowane. Początkowo w skład stanowiska wchodził jeden wzbudnik drgań umożliwiający wzorcowanie w zakresie częstotliwości drgań od 5 Hz do 10 kHz i wyłącznie dla pionowego kierunku pobudzenia. W następnych etapach stanowisko zostało rozbudowane o dwa niskoczęstotliwościowe wzbudniki (jeden generujący drgania poziome, drugi – drgania pionowe), co pozwoliło na prowadzenie pomiarów w zakresie częstotliwości już od około 0,2 Hz. Kolejna modernizacja objęła

udoskonalenie systemu wibroizolacji i wprowadzenie precyzyjnego kontrolowania pozycji równowagi (pozycji zerowej) niskoczęstotliwościowych wzbudników drgań. Włączenie w układ specjalnego pryzmatu umożliwiło wykorzystanie stanowiska do wzorcowania metodą pierwotną użytkowych wibrometrów laserowych (zgodnie z normą ISO 16063-41). Okresowej aktualizacji podlega również oprogramowanie.

Poprawność pracy stanowiska jest systematycznie weryfikowana – poprzez udział w międzynarodowych porównaniach (regionalnych i kluczowych) oraz poprzez własne testy kontrolne (mechaniczne i elektryczne). Dopóki stanowisko spełnia wymagania właściwej normy i uzyskuje potwierdzenie w porównaniach międzynarodowych, dopóty można je traktować jak nowoczesne, odpowiadające aktualnym standardom.

#### – A jak wygląda konserwacja takiego wzorca?

– Oczywiście konieczne jest dbanie, żeby w powietrzu nie było pyłu, a na stanowisku kurzu. Istotne są warunki klimatyczne utrzymywane w pomieszczeniu: nie może być za wilgotno, temperatura w granicach (20–25) °C – do tego służy klimatyzacja. Przy pomiarach drgań ciśnienie atmosferyczne nie ma znaczenia. Ważna jest natomiast wysoka jakość sprężonego powietrza, które jest wykorzystywane w łożyskach powietrznych wzbudników i do celów wibroizolacji (czyste, suche). Wymaga to stałego nadzoru oraz okresowych przeglądów i konserwacji sprężarki i osuszacza.

Z kolei, aby zapewnić właściwe warunki dla interferencji, powierzchnia odbijająca wzorcowanego przetwornika drgań lub stołu wzbudnika musi być odpowiednio przygotowana – wymaga okresowego polerowania (drobnoziarnistym papierem ściernym).

Przejdę teraz do części elektronicznej stanowiska. Zgodnie z zaleceniami producenta kontroler sterujący stanowiskiem musi pracować non-stop, konieczne jest więc zasilanie go z sieci za pośrednictwem UPS. Nie ma wprawdzie większego ryzyka, że przy braku zasilania nastąpi awaria kontrolera, ale wyłączenie może spowodować pogarszanie się parametrów stanowiska wzorca.

Kontrolowana musi być wartość pojemności kondensatorów znajdujących się w jednym z analogowych paneli kontrolera. W pierwszym okresie po zainstalowaniu stanowiska w GUM obserwowaliśmy pewien dryf wartości pojemności, konieczna była nawet interwencja producenta. Potem nastąpiła zauważalna stabilizacja parametrów. Jesteśmy w stanie sami kontrolować pojemność i wprowadzać ewentualnie drobne korekty w ustawieniach.

Aby w pełni nadzorować właściwości metrologiczne części elektrycznej stanowiska, co dotyczy głównie kontrolera, konieczne jest uzupełnienie wyposażenia

laboratorium o niezbędne przyrządy pomiarowe, takie jak woltomierz cyfrowy wysokiej dokładności i stabilności oraz wysokiej klasy wzorcowy tłumik (zakupy inwestycyjne mają zostać zrealizowane w 2018 roku) oraz opracowanie specjalnej procedury pomiarowej (w tym zakresie mamy nadzieję na współpracę z kolegami z L5).

#### – Czy w przypadku wzorca drgań mechanicznych warunki jego utrzymania, przechowywania są optymalne, czy może potrzebna byłaby jakaś zmiana? Czy dziedzina drgań mechanicznych jest szczególnie wymagająca pod tym względem?

– Pomieszczenie piwniczne, w którym zainstalowane jest stanowisko wzorca państwowego wielkości drgań mechanicznych, jest wystarczające, zarówno pod względem powierzchni, warunków środowiskowych (klimatyzacja), jak i jakości doprowadzonych mediów, w tym sprężonego powietrza. Wielkość pomieszczenia pozwala nawet na rozszerzenie naszej działalności pomiarowej. Ostatnio w tym samym pomieszczeniu zainstalowane zostało stanowisko do wzorcowania metodą porównawczą w zakresie udarów (zgodnie z normą ISO16063-22), czyli do wzorcowania przetworników, które są stosowane do pomiarów zjawisk szokowych (udarów, uderzeń, wstrząsów) dla przyspieszenia z zakresu od 200 m/s<sup>2</sup> do 100 km/s<sup>2</sup>. Stanowisko znajduje się obecnie w fazie testów, przygotowujemy instrukcję wzorcowania i budżet niepewności.

W bliskich planach, a więc w perspektywie 2–3 lat, mamy budowę stanowiska do wzorcowania sejsmometrów i geofonów, czyli przetworników (najczęściej o dużej masie), służących do pomiarów niskoczęstotliwościowych drgań rozchodzących się w gruncie.

Wśród usług realizowanych w GUM z dziedziny drgań nie oferujemy, jak dotychczas, wzorcowania przyrządów do pomiaru drgań skrętnych. Być może w dalszej perspektywie zajmiemy się i tą poddziedziną, ale w tej chwili nie obserwujemy istotnego zainteresowania takimi pomiarami.

#### – Dziękuję za rozmowę.