

*Cezary Bartmański*

## AUTOMATYZACJA BADAŃ METROLOGICZNYCH PRZYRZĄDÓW DO POMIARU DRGAŃ

### Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki badań nad usprawnianiem procesu uwierzytelniania i kalibracji przyrządów do pomiaru drgań. Do wykonywania takich badań Laboratorium Akustyki Technicznej Głównego Instytutu Górnicztwa uzyskało uprawnienia Prezesa Głównego Urzędu Miar.

Podano akty prawne precyzujące wymagania odnośnie do konstrukcji i wartości parametrów technicznych przyrządów do pomiaru drgań, mających znaczenie dla bezpieczeństwa życia i ochrony zdrowia oraz wprowadzające obowiązek okresowego uwierzytelniania przyrządów.

Proces uwierzytelniania i kalibracji przyrządów wiąże się z wykonaniem wielu czynności sprawdzających na zgodność parametrów przyrządu z wymaganiami. Na podstawie analizy pracochłonności poszczególnych rodzajów czynności sprawdzających stwierdzono, że: najbardziej pracochłonny jest pomiar charakterystyki częstotliwościowej. W związku z powyższym zautomatyzowano metodę sprawdzania charakterystyki częstotliwościowej oraz wytypowano zestaw przyrządów, wymagany do jej realizacji. Sterowanie przyrządami stanowiska pomiarowego zrealizowano z wykorzystaniem standardu magistrali pomiarowej GPIB. W charakterze kontrolera magistrali zastosowano komputer klasy IBM PC, wyposażony w kartę GPIB-PCII/IIA firmy National Instruments Corp. W artykule przedstawiono opis programu wraz z algorytmem pracy oraz proces przetwarzania danych pomiarowych, przy wykorzystaniu arkusza kalkulacyjnego MS Excel 97. Formę udokumentowania wyników pomiarów zilustrowano fragmentem świadectwa uwierzytelnienia przyrządu.

Algorytm pracy programu stanowi implementację części dotyczącej sprawdzania charakterystyki częstotliwościowej, procedury pomiarowej nr 2 pn. „Sprawdzanie przyrządów do pomiaru drgań oddziałujących na organizm człowieka”, wchodzącej w skład Księgi Procedur Pomiarowych Laboratorium Pomiarowego nr 6, akredytowanego przez Prezesa Głównego Urzędu Miar i spełnia wymagania zawarte w dokumentach nadrzędnych, tj. w przepisach metrologicznych i instrukcji sprawdzania przyrządów do pomiaru drgań oddziałujących na organizm człowieka, wydanych przez **Główny Urząd Miar**.

### Automation of metrological tests of instruments for vibration measurement

#### Abstract

The article presents the results of investigations relating to the improvement of the certification and calibration process of instruments designed for vibration measurement. The Laboratory of Technical Acoustics of the Central Mining Institute has gained the authority to perform such tests.

Legal acts were given, precisising the requirements regarding the construction and technical parameter value of instruments for vibration measuring, and introducing the obligation of periodical instrument certification.

The certification and calibration process of instruments is connected with the performance of many checking actions relating to the conformity of instrument parameters with requirements. On the basis of labour intensity analyses of individual kinds of verification actions it has been ascertained that the most labour-consuming is the frequency response measurement. In connection with the above one has automated the method of frequency response and selected the set of instruments, required for its realization. Instrument steering of the measuring stand was realized with the use of GPIB measuring control bus standard. As control bus controller a computer of IBM PC class was applied, equipped with

GPIB-PCII/IIA card of the firm National Instruments Corporation. The article presents a description of the program along with the work algorithm and process of measuring sheet. The form of measuring results documenting was illustrated by a certificate fragment of instrument certification.

The work algorithm of the program constitutes the implementation of the part, concerning frequency response verification, of the measuring procedure no.2 entitled "Verification of instruments for the measurement of vibrations influencing the human organism", included in the Measuring Procedure Manual of the Measuring Laboratory no.6, accredited by the President of the Central Office of Measures, and meets the requirements covered by superordinated documents, i.e. metrological regulations and verification instruction for instruments serving the measurement of vibrations, influencing the human organism, issued by the Central Office of Measures.

## 1. WPROWADZENIE

Przyrządy do pomiaru drgań, mające znaczenie dla bezpieczeństwa życia i ochrony zdrowia, podlegają ściśle określonym wymaganiom dotyczącym konstrukcji i wartości parametrów technicznych. W Polsce, wymagania te określa norma PN-91/N-01355 „Drgania. Przyrządy do pomiaru drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka”. Spełnienie wymagań jest warunkiem zatwierdzenia typu przyrządu przez GUM, i tym samym, dopuszczenia do stosowania [4].

Istnieje obowiązek prawny okresowego uwierzytelniania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka, wprowadzony zarządzeniami Prezesa GUM [3, 5, 6], co wiąże się z wykonaniem badań na zgodność parametrów przyrządu z wymaganiami. Jednolity sposób przeprowadzania badań przez różne, uprawnione do tego laboratoria, zapewniają przepisy metrologiczne i instrukcje sprawdzania przyrządów wydane przez Prezesa GUM. Fakt spełnienia przez przyrząd określonych wymagań metrologicznych potwierdzany jest świadectwem uwierzytelnienia.

W dniu 31.12.1997 roku Laboratorium Akustyki Technicznej GIG uzyskało akredytację Prezesa Głównego Urzędu Miar w Warszawie (certyfikat akredytacji nr A 6/1/97) i uprawnienia do uwierzytelniania, wzorcowania i sprawdzania przyrządów wibroakustycznych (upoważnienie nr 4/97). Księga Procedur Pomiarowych, objęta akredytacją, zawiera sześć procedur pomiarowych, w tym Procedurę Pomiarową nr 2 „Sprawdzanie przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka”, bezpośrednio związaną z tematem artykułu.

W procedurze tej zostało szczegółowo opisanych 12 rodzajów czynności sprawdzających, które należy wykonać w procesie uwierzytelniania przyrządów. Realizacja całej procedury pomiarowej jest pracochłonna – wymaga wypełnienia, co najmniej 13 stron protokołów z pomiarów i 9 stron świadectwa końcowego. Utrzymanie w tej sytuacji konkurencyjności świadczonych usług wymaga dobrze zorganizowanego i sprawnego ich wykonywania. W dużej mierze jest to możliwe dzięki wykorzystywaniu nowoczesnych, zautomatyzowanych technik pomiarowych. Efekt ich stosowania jest szczególnie widoczny podczas badań wymagających wykonania dużej liczby powtarzających się pomiarów. Liczbę pomiarów, potrzebną do wykonania określonego rodzaju czynności sprawdzających ze wskazaniem możliwości ich zautomatyzowania przedstawiono w tabelicy 1. Zawarte w niej dane wskazują, że wprowadzenie automatyzacji pomiarów jest najbardziej pożądane w odniesieniu do sprawdzania

charakterystyki częstotliwościowej przyrządów, z powodu jego dużej pracochłonności. Jest to tym bardziej zasadne, że (czego nie uwidacznia tablica) z uwagi na specyfikę pomiaru w zakresie częstotliwości 0,1÷10 Hz, czas jednego pomiaru wynosi 4 minuty. W efekcie, czas wykonania sprawdzenia czterech charakterystyk częstotliwościowych, dla jednego przyrządu, wynosi ponad 5 godzin. Wprowadzenie wspomaganie komputerowego do pomiarów i odciążenie obsługi od wykonywania wielokrotnie powtarzających się czynności w istotny sposób usprawnia przebieg procesu sprawdzania, zmniejszając jednocześnie prawdopodobieństwo popełnienia, przez obsługę, błędu. Należy również zwrócić uwagę na znaczne oszczędności czasu, który może być efektywnie wykorzystany na wykonanie innych prac.

**Tablica 1. Liczba pomiarów potrzebna do wykonania określonego rodzaju czynności sprawdzających**

Rodzaj sprawdzenia	Liczba pomiarów	Możliwość automatyzacji pomiarów
ogłędziny zewnętrzne	–	nie
sprawdzenie błędów podstawowych	9	nie
sprawdzenie charakterystyk częstotliwościowych	173	tak
sprawdzenie błędów przy zmianie zakresów pomiarowych	3	nie
sprawdzenie błędów liniowości przetwornika pomiarowego i urządzenia wskazującego	10	tak
sprawdzenie poziomu zakłóceń wewnętrznych	9	nie
sprawdzenie błędów pomiaru wartości skutecznej	24	półautomat <sup>*)</sup>
sprawdzenie błędów pomiaru wartości szczytowej	6	nie
sprawdzenie charakterystyk dynamicznych przetwornika wartości skutecznej	12	półautomat
sprawdzenie charakterystyk dynamicznych przetwornika wartości szczytowej	2	nie
sprawdzenie czasu spadku wskazań	6	nie
sprawdzenie błędów przetwornika uśredniająco-całkującego	3	nie

<sup>\*)</sup> Terminem „półautomat” zaznaczono czynności sprawdzające, w przypadku których możliwa jest jedynie częściowa automatyzacja, z uwagi na konieczność dokonywania odczytów z urządzenia wskazującego badanego przyrządu.

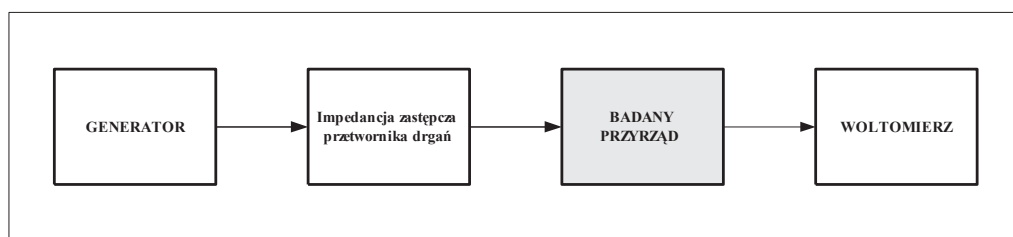
## 2. METODA SPRAWDZANIA CHARAKTERYSTYKI CZĘSTOTLIWOŚCIOWEJ

Przyrządy do pomiaru drgań oddziałujących na organizm człowieka mają cztery rodzaje filtrów kształtujących ich charakterystyki częstotliwościowe:

- WBxy, WBz – filtry służące do pomiaru wartości skorygowanej przyspieszenia drgań mechanicznych o ogólnym oddziaływaniu na organizm człowieka, odpowiednio dla kierunków poziomych i pionowego,

- H-A – filtr służący do pomiaru wartości skorygowanej przyspieszenia drgań mechanicznych o miejscowym oddziaływaniu na organizm człowieka,
- LIN – filtr służący do pomiaru szerokopasmowej wartości skutecznej przyspieszenia drgań.

Przebieg każdej z tych charakterystyk, wraz z dopuszczalnymi odchyłkami dla poszczególnych częstotliwości, jest podany w przepisach metrologicznych [2], w postaci tabelarycznej. Celem sprawdzania jest określanie, czy odchyłki zmierzonej charakterystyki częstotliwościowej nie przekraczają wartości dopuszczalnych, w określonym zakresie częstotliwości. Sprawdzenie wykonywane jest w układzie pomiarowym, którego schemat blokowy przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat blokowy układu pomiarowego dla sprawdzania charakterystyki częstotliwościowej

Fig. 1. Block scheme of measuring system for frequency response verification

Na wejście badanego przyrządu, przez równoważną impedancję elektryczną przetwornika drgań, podawany jest sygnał sinusoidalny. Częstotliwość sygnału dla poszczególnych punktów pomiarowych wybrana jest zgodnie z wytycznymi instrukcji sprawdzania przyrządów [1], dla określonego rodzaju filtru. Wartość napięcia sygnału z generatora, ustalona przez osobę realizującą pomiary, jest stała dla wszystkich punktów pomiarowych. Powinna ona być tak dobrana, aby można było uzyskać maksymalną dynamikę pomiarów w całym zakresie częstotliwości mierzonych. Dla każdej wartości częstotliwości, wykonywany jest pomiar napięcia na wyjściu badanego przyrządu. Następnie dla każdego punktu pomiarowego określa się błąd względny charakterystyki częstotliwościowej, zgodnie z poniższymi wzorami:

$$\delta_i = \frac{K_i - K_{p,i}}{K_{p,i}} 100\% \quad (1)$$

gdzie:  $K_i$  – wzmacnienie dla  $i$ -tego punktu pomiarowego,

$$K_i = \frac{U_{wyj,i}}{\frac{U_{wyj,ref}}{K_{p,ref}}} \quad (2)$$

$U_{wyj,i}$  – napięcie na wyjściu przyrządu dla  $i$ -tego punktu pomiarowego,

$U_{wyj,ref}$  – napięcie na wyjściu przyrządu dla częstotliwości odniesienia,

- $K_{p,i}$  – wartość poprawna wzmocnienia, dla  $i$ -tego punktu pomiarowego, zgodnie z przepisami metrologicznymi [2],
- $K_{p,ref}$  – wartość poprawna wzmocnienia, dla częstotliwości odniesienia, zgodnie z przepisami metrologicznymi [2].

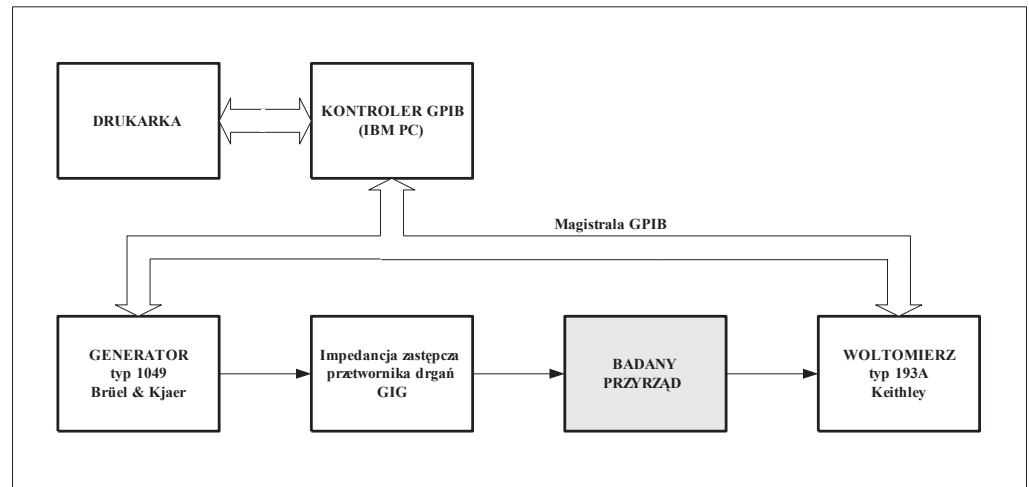
Błędy dla poszczególnych punktów pomiarowych porównywane są z wartościami dopuszczalnymi, określonymi w przepisach metrologicznych. Wynik sprawdzenia danego filtra jest pozytywny, jeśli błędy charakterystyki częstotliwościowej nie przekraczają wartości dopuszczalnych błędów dla wszystkich punktów pomiarowych.

Dane identyfikujące przyrząd oraz wyniki pomiarów i obliczeń zapisywane są w protokole z pomiarów. Protokoły ze wszystkich czynności sprawdzających, z pozytywną oceną błędów pomiaru, stanowią podstawę wydania dokumentu końcowego, jakim jest świadectwo uwierzytelnienia przyrządu.

## 2.1. Opis układu pomiarowego i algorytm pracy

Schemat blokowy układu pomiarowego, przeznaczonego do zautomatyzowanego sprawdzania charakterystyk częstotliwościowych przyrządów, przedstawiono na rysunku 2. Prezentowany na rysunku 1 układ pomiarowy został rozbudowany o część sterowania cyfrowego w postaci kontrolera i magistrali pomiarowej GPIB. W charakterze kontrolera zastosowano komputer klasy IBM PC z zainstalowaną kartą typu GPIB-PCII/IIA, firmy National Instruments Corp. Magistrala łączy z kontrolerem wszystkie przyrządy wymagające sterowania, w czasie wykonywania pomiarów. Program przystosowany jest do sterowania zestawem przyrządów pomiarowych, w skład którego wchodzi:

- generator sygnałów sinusoidalnych typu 1049 firmy Brüel & Kjaer,
- woltomierz typu 193A firmy Keithley.



Rys. 2. Schemat blokowy układu pomiarowego dla automatycznej realizacji pomiarów

Fig. 2. Block scheme of measuring system for automatic measurement realization

Wykorzystanie innych typów przyrządów pomiarowych jest możliwe, lecz wymaga uprzedniego dostosowania programu do specyfiki sterowania konkretnego przyrządu. Formaty rozkazów, funkcjonalnie tych samych przyrządów, lecz wyprodukowanych przez różnych wytwórców, zazwyczaj różnią się od siebie.

Praca układu pomiarowego odbywa się pod kontrolą programu komputerowego, realizującego opisaną metodykę pomiaru. Wszelkich zmian nastaw generatora sygnałowego i woltomierza, wynikających z wykonywanej procedury pomiarowej, dokonuje kontroler systemu pomiarowego za pośrednictwem magistrali GPIB. Również tą drogą przesyłane są do kontrolera wyniki pomiarów, gdzie następuje ich rejestracja, w celu dalszego przetwarzania.

Program rozpoczyna pracę od przełączenia sterowania przyrządów pomiarowych na tryb zdalnego sterowania. Od tego momentu woltomierz i generator „reagują” jedynie na polecenia przesyłane magistralą pomiarową. Uruchomienie pomiarów poprzedzone jest wyborem rodzaju filtru, dokonywanym przez użytkownika. W konsekwencji wyboru, ustalone zostają parametry będące funkcją rodzaju filtru (tabl. 2).

**Tablica 2. Parametry wykonania programu jako funkcja rodzaju filtru**

Rodzaj filtru	$F_{min}$ Hz	$F_{max}$ Hz	Plik danych wejściowych	Plik wyników pomiarów
WBxy	0,1	800	wbxy.dat	wbxy.pom
WBz	0,1	800	wbz.dat	wbz.pom
H-A	0,8	10 000	h_a.dat	h_a.pom
LIN	0,1	10 000	lin.dat	lin.pom

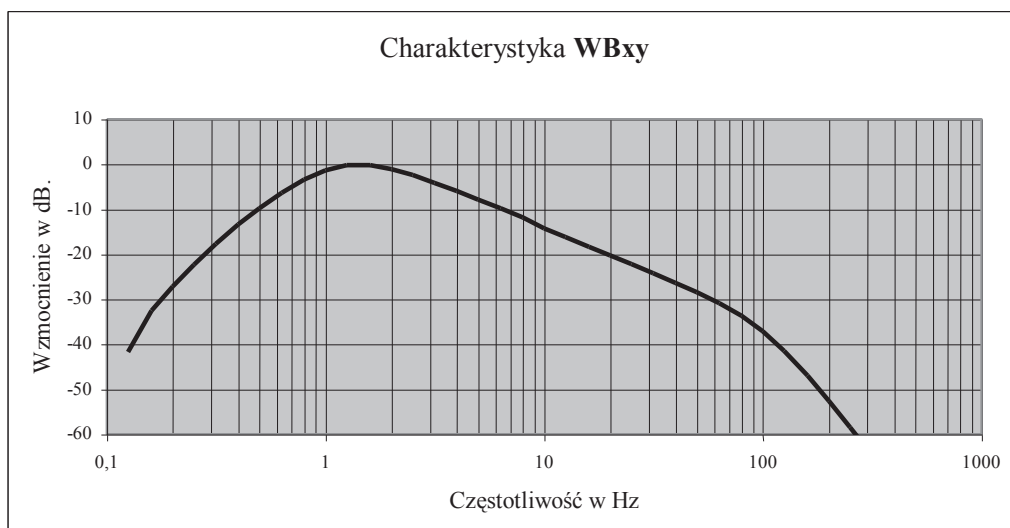
Sterowanie zmianami częstotliwości pomiarowych realizowane jest w pętli. Zmiana częstotliwości odbywa się od wartości najmniejszej do największej, w obrębie przedziału  $\langle F_{min}; F_{max} \rangle$ . Poszczególne wartości częstotliwości odczytywane są z właściwego pliku danych i są zgodne ze znormalizowanym ciągiem wartości 1/3-oktawowych. Dla każdej częstotliwości, po zaprogramowaniu generatora, wykonywany jest pomiar napięcia, a wynik pomiaru zapamiętany i wyświetlony wraz z wartością częstotliwości, na ekranie.

Po wykonaniu pomiarów, dla wszystkich zadeklarowanych częstotliwości, wyniki zostają zapisane na dysku w pliku wynikowym, o określonej nazwie, po czym następuje wyłączenie generatora oraz zmiana sterowania przyrządami pomiarowymi na sterowanie lokalne, kończąc tym samym działanie algorytmu.

Uzyskane wyniki pomiarów stanowią podstawę do wyznaczenia błędów sprawdzanej charakterystyki częstotliwościowej. Wszystkie obliczenia wykonywane są z wykorzystaniem arkusza kalkulacyjnego MS Excel 97, w pliku roboczym, skojarzonym ze sprawdzanym przyrządem. Plik ten tworzony jest jako kopia pliku wzorcowego, zawierającego implementację wszystkich wzorów obliczeniowych, stosowanych w procedurze pomiarowej. W wyniku otwarcia, w programie MS Excel 97, pliku roboczego \*.xls, na zakładce odpowiadającej wybranemu rodzajowi filtru oraz właściwego pliku z wynikami pomiarów \*.pom, dane pomiarowe







**Rys. 3.** Fragment świadectwa uwierzytelnienia przyrządu

**Fig. 3.** Certificate fragment of instrument certification

### 3. PODSUMOWANIE

- Weryfikacja poprawności pracy programu została przeprowadzona przez porównanie wyników uzyskanych, z jego zastosowaniem, z wynikami otrzymanymi podczas dotychczasowego, ręcznego sterowania przyrządami pomiarowymi.
- Program został wdrożony w Laboratorium Pomiarowym nr 6, akredytowanym przez Prezesa GUM, potwierdzając spodziewane walory użytkowe.
- Przenośność oprogramowania ograniczona jest do systemów pomiarowych o identycznym, ze specyfikacją zestawie przyrządów. Wynika to z różnego formatu danych sterujących, dla funkcjonalnie takich samych przyrządów, lecz pochodzących od różnych producentów. Wykorzystanie programu w systemach z innym zestawem przyrządów wymaga jedynie wprowadzenia zmian, uwzględniających specyfikę sterowania konkretnych przyrządów.
- Program może być wykorzystany do sprawdzania charakterystyk częstotliwościowych dowolnych przyrządów i urządzeń, pracujących w zakresie częstotliwości 0,1÷10 kHz.

#### Literatura

1. Instrukcja sprawdzania przyrządów do pomiaru drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka. Załącznik do zarządzenia nr 108 Prezesa GUM z dnia 4.09.1995.
2. Przepisy metrologiczne o przyrządach do pomiaru drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka. Załącznik do zarządzenia nr 107 Prezesa GUM z dnia 4.09.1995.



3. Zarządzenie nr 2 Prezesa GUM z dnia 03.01.1994 r. w sprawie określenia warunków i trybu zgłaszania przyrządów pomiarowych do uwierzytelniania oraz do określenia wzorów cech uwierzytelnienia.
4. Zarządzenie nr 10 Prezesa GUM z dnia 15.04.1994 r. w sprawie ustalenia trybu postępowania przy zatwierdzaniu typu przyrządów pomiarowych.
5. Zarządzenie nr 12 Prezesa GUM z dnia 22.04.1994 r. w sprawie określenia przyrządów pomiarowych podlegających obowiązkowi uwierzytelnienia.
6. Zarządzenie nr 31 Prezesa GUM z dnia 01.07.1999 r. zmieniające zarządzenie w sprawie wprowadzania przepisów metrologicznych o przyrządach do pomiaru drgań mechanicznych oddziałujących na organizm człowieka.

**Recenzent:** prof. dr hab. inż. Adam Lipowczan