

dr inż. Elżbieta Nowicka¹⁾
ORCID: 0000-0002-7993-8215

Variability of noise measurement results from technical equipment depending on the applied testing method

Zmienność wyników pomiaru hałasu od urządzeń technicznych w zależności od zastosowanej metody badawczej

DOI: 10.15199/33.2025.11.10

Abstract: In recent years, a decision was made in Poland to introduce new acoustic requirements concerning the permissible indoor sound pressure levels. In connection with this, it was decided to implement new international testing methods for evaluating the sound levels emitted by service equipment in buildings, as the existing method no longer corresponds either to the standards of modern construction nor to the contemporary measurement techniques included in the adopted European standards. The present paper investigates the influence of the change in testing methodology on the measurement results, based on the outcomes of inter-laboratory comparative studies. The analyses presented in the article concern sound pressure levels determined for both steady and non-steady noise sources. The results constitute an extension of the author's previous studies.

Keywords: noise; measurement methods; building service equipment.

Streszczenie: W ostatnich latach wprowadzono w Polsce nowe wymagania akustyczne dotyczące dopuszczalnych poziomów dźwięku w pomieszczeniach. W związku z tym zdecydowano o stosowaniu nowych, międzynarodowych metod badawczych poziomu dźwięku od urządzeń wyposażenia technicznego budynku, gdyż obecna metoda nie odpowiada standardom nowoczesnego budownictwa ani współczesnym technikom pomiarowym zawartym w przyjętych normach europejskich. W artykule przedstawiono wpływ zmiany metody badawczej na wynik pomiaru określony na podstawie przeprowadzonych międzylaboratoryjnych badań porównawczych. Przedstawione analizy dotyczą równoważnego poziomu dźwięku określonego w przypadku źródeł dźwięku o hałasie ustalonym i nieustalonym. Wyniki stanowią rozszerzenie wcześniejszych moich badań.

Słowa kluczowe: hałas; metody pomiaru; wyposażenie techniczne budynku.

Recently, the need has arisen to introduce new testing methods for evaluating indoor sound pressure levels in residential buildings, specifically concerning the noise emitted by service equipment, as the currently applied procedures no longer correspond either to modern construction standards or to contemporary measurement techniques incorporated into adopted European standards. The measurement of noise generated by service equipment constitutes one of the elements of acoustic requirements both in Poland and internationally. The new testing standards were also introduced in the amendment to the Polish standard PN-B-02151-2:2018 [1] and in the proposed changes to the Regulation of the Minister on the technical conditions to be met by buildings and their location [2].

In the case of noise measurements for real sound sources, depending on the characteristics of the sample, the actual value of the equivalent sound pressure level may significantly deviate from the approximated value, which may lead to erroneous estimation of the uncertainty of noise indicators. The most serious concerns are related to the assumption that the random variable describing the measured sample of sound pressure levels follows a normal probability distribution. It should be noted that this assumption is not limited solely to noise measurements, but is commonly applied across various acoustic measurements. In practice, the nature of the probability distribution of the sample often remains unverified. For samples

W ostatnim czasie wynikła potrzeba wprowadzenia nowych metod badawczych poziomu dźwięku od urządzeń wyposażenia technicznego obiektu w budownictwie mieszkaniowym, gdyż obecnie nie odpowiadają standardom nowoczesnego budownictwa ani współczesnym technikom pomiarowym zawartym w przyjętych normach europejskich. Pomiar hałasu generowanego przez urządzenia stanowiące techniczne wyposażenie budynku są jednym z elementów wchodzących w skład wymagań akustycznych w Polsce i na świecie. Nowe normy badawcze zostały także znowelizowane w polskiej normie PN-B-02151-2:2018 [1] oraz w ramach proponowanych zmian do Rozporządzenia w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2].

W przypadku pomiaru hałasu generowanego przez rzeczywiste źródło dźwięku, dokładna wartość równoważnego poziomu dźwięku może znacznie różnić się od wartości przybliżonej w zależności od charakteru próbki. Może to prowadzić do błędnego oszacowania niepewności wskaźników hałasu. Największe zastrzeżenia dotyczą założenia, że zmienna losowa, która opisuje próbkę mierzonego poziomu dźwięku, ma normalny rozkład prawdopodobieństwa. Należy dodać, że nie tylko pomiar hałasu zakłada normalny rozkład prawdopodobieństwa wyników. To założenie jest powszechnie stosowane w innych pomiarach akustycznych. Charakter rozkładu prawdopodobieństwa próby często pozostaje niezwyfikowany. W przypadku próbek o rozkładach charakteryzujących się za-

¹⁾ Instytut Techniki Budowlanej; e.nowicka@itb.pl

exhibiting disturbed distributions, approximation may lead to considerable errors, even in cases of small standard deviations. Therefore, it is essential to carefully select the method for determining measurement uncertainty in acoustics, taking into account the specific probability distribution of the results. [3].

The required degree of protection against installation noise refers to the sound levels penetrating into residential spaces (rooms, kitchens) from building service equipment installed either within the building or in its immediate vicinity, and over which the occupant of the given room has no control.

The measurement of noise generated by service equipment constitutes one of the elements of acoustic requirements both in Poland and internationally. The issue concerns noise originating from various types of technical equipment, including heating and cooling devices, sanitary installations, mechanical ventilation systems, lifts, chutes, pumps, garage doors, and other auxiliary devices, with the noise penetrating into the rooms both in residential buildings and in general-purpose construction [1].

Each method is characterized by specific provisions concerning the equipment used, the sampling procedure (in the case of noise measurements: time and location), the number of measurements, the procedure for processing the measurement results into a final value, as well as by non-controllable factors, i.e., those which are not precisely defined within the measurement model and may introduce variability manifested as differences between results under repeatability conditions. When measurements are performed by different laboratories, i.e., under reproducibility conditions, these differences are generally more pronounced (reproducibility standard deviation). Minimization of variability under repeatability and reproducibility conditions should be ensured through the validation of measurement methods, conducted by the organizations developing the methodology. Accredited laboratories should implement procedures for monitoring the quality of their results. In this way, the risk of incorrect assessments is minimized. One of the means of monitoring repeatability and reproducibility is the organization of inter-laboratory comparisons. These constitute one of the key activities aimed at confirming the quality of measurements performed by laboratories. At the same time, they play an important role in the development and validation of measurement and test methods, the estimation of repeatability, reproducibility or measurement uncertainty levels, the characterization of the test method, the assignment of reference values to reference materials, and ultimately, in establishing the comparability of different methods with respect to the given measurand [4].

Accredited laboratories apply the procedure for estimating measurement uncertainty in accordance with ISO/IEC 17025:2017 [5]. ISO defines measurement uncertainty as a parameter associated with the measurement result that characterizes the dispersion of values that can reasonably be attributed to the measurand [6]. For a test sample, the true value of the measurand is never known. The ISO definition indicates that the test result, when accompanied by the estimated uncertainty, is expected to encompass the true value. The probability of this occurrence depends on the confidence level applied in the uncertainty estimation. Typically, the expanded uncertainty is estimated by applying a coverage factor to provide a coverage probability of approximately 95%. There are various approaches to uncertainty estimation, including the

klóceniami aproksymacja może powodować duże błędy, nawet w przypadku niewielkich odchyłeń standardowych. Z tego powodu ważne jest staranne wybranie metody określania niepewności pomiarów akustycznych ze względu na określony rozkład prawdopodobieństwa wyników [3].

Wymagany stopień ochrony przed hałasem instalacyjnym odnosi się do poziomu hałasu przenikającego do pomieszczeń mieszkalnych (pokojów, kuchni), od urządzeń wyposażenia technicznego budynków i mieszkań, zamontowanych w budynku lub w jego sąsiedztwie, na działanie których nie ma wpływu użytkownik danego pomieszczenia. Problematyka dotyczy hałasu od różnorodnych urządzeń wyposażenia technicznego, takich jak urządzenia grzewcze i chłodzące, instalacje sanitarne, wentylacje mechaniczne, windy, zsypy, pompy, drzwi garażowe i inne pomocnicze urządzenia, przenikającego do pomieszczeń zarówno w budynkach mieszkalnych, jak i budownictwa ogólnego [1].

Każda metoda charakteryzuje się specyficznymi ustaleniami dotyczącymi stosowanego wyposażenia, sposobu pobrania próbek (w przypadku pomiarów hałasu: czas i miejsce), liczbą pomiarów, sposobem przeliczenia wyników pomiarów na ostateczny wynik oraz czynnikami niekontrolowanymi, które nie zostały doprecyzowane w ramach modelu i mogą wywoływać zmienności przejawiające się jako różnice pomiędzy wynikami w warunkach powtarzalności. Przy realizacji pomiarów przez różne laboratoria, czyli w warunkach odtwarzalności, różnice te są dużo większe (odchylenie standardowe odtwarzalności).

Minimalizacja zmienności w warunkach powtarzalności i odtwarzalności musi być zapewniona w ramach walidacji metod pomiarowych, realizowanej przez organizacje opracowujące metodę. Laboratoria akredytowane powinny posiadać procedury monitorowania jakości swoich wyników. W ten sposób minimalizowane jest ryzyko błędnych ocen. Jednym ze sposobów monitorowania powtarzalności i odtwarzalności wyników jest wykonywanie porównań międzylaboratoryjnych mających na celu potwierdzenie jakości przeprowadzanych przez nie pomiarów. Jednocześnie działania takie odgrywają dużą rolę przy opracowywaniu i walidacji metod pomiarowych i badawczych, szacowaniu poziomu niepewności wyników badań, charakteryzowaniu metody badawczej, przypisywaniu wartości dotyczących materiałów odniesienia, czy wreszcie ustaleniu porównywalności różnych metod w odniesieniu do danej wielkości mierzonej [4].

Laboratoria akredytowane stosują procedurę szacowania niepewności pomiaru zgodnie z normą ISO/IEC-17025:2017 [5], która definiuje ten parametr związany z wynikiem pomiaru jako rozrzut wartości, które można przypisać wielkości mierzonej [6]. W przypadku próbki testowej prawdziwa wartość wielkości mierzonej nigdy nie jest znana. Definicja wg normy ISO wskazuje, że wynik badania jest prawdziwy, gdy uwzględnimy oszacowaną niepewność. Prawdopodobieństwo, że tak się stanie, zależy od poziomu ufności podanego w oszacowaniu niepewności. Najczęściej niepewność rozszerzona jest szacowana przez zastosowanie współczynnika rozszerzenia, aby zapewnić prawdopodobieństwo rozszerzenia ok. 95%. Istnieje wiele różnych podejść do szacowania niepewności, w tym podstawowe podejście metrologiczne opisane w przewodniku dotyczącym wyrażania niepewności pomiaru [7, 8].

fundamental metrological approach described in the guide to the expression of uncertainty in measurement [7, 8].

The article addresses the issue of variability in noise measurement results from technical equipment, depending on the testing method applied, as determined on the basis of conducted inter-laboratory comparative studies. The present study addresses the issue of the influence of a change in testing methodology on the measurement results, as determined based on inter-laboratory comparative studies. The measurement of noise generated by service equipment constitutes one of the elements of acoustic requirements both in Poland and internationally. In the case of noise measurements for actual sound sources, depending on the characteristics of the sample, the exact value of the sound pressure level may significantly differ from the approximated value, which may lead to incorrect estimation of noise indicators' uncertainty. Furthermore, measurement results obtained using different methods may also vary. Measurement results obtained using different methods may also differ in terms of repeatability, as the methods themselves may, for example, feature varying configurations of measurement points (Figure 1). This creates a risk of inconsistent conformity assessments depending on the applied method, the measuring laboratory, or the uncertainty of the measurement results [9].

This paper presents the results of comparative studies concerning the evaluation of sound levels generated by a non-steady noise source, which complement the previous analyses conducted for steady noise sources [10].

Normative noise measurements in protected rooms

Until August 2024, noise measurements in buildings in Poland were carried out in accordance with a Polish standard dating back to the 1980s [11]. This standard had been established under different socio-political conditions and, above all, reflected a different state of measurement and construction technologies. In recent years, the need has arisen to update the standard, as it no longer corresponds either to the standards of modern construction nor to the contemporary measurement techniques incorporated into the European standards adopted in Poland [12, 13].

The need to revise the standard concerning permissible indoor noise levels arises primarily from the fact that two new European standards have been established [14, 15], addressing

W artykule opisano zmienność wyników pomiaru hałasu od urządzeń technicznych w zależności od zastosowanej metody badawczej, określonej na podstawie przeprowadzonych międzylaboratoryjnych badań porównawczych. W przypadku pomiaru hałasu generowanego przez rzeczywiste źródło dźwięku, w zależności od charakteru próbki, dokładna wartość poziomu dźwięku może znacznie różnić się od wartości przybliżonej, a w efekcie prowadzi do błędnego oszacowania niepewności wskaźników hałasu. Różnić się mogą również (pod względem powtarzalności) wyniki pomiarów realizowanych różnymi metodami, które charakteryzują się np. zmienną konfiguracją punktów pomiarowych (rysunek 1). Stwarza to ryzyko niespójnych ocen zgodności z kryteriami w zależności od metody, laboratorium pomiarowego czy niepewności wyników pomiaru [9]. W artykule przedstawiono rozszerzone wyniki badań porównawczych o dane dotyczące hałasu nieustalonego, w stosunku do wcześniej przeprowadzonych [10].

Normatywne pomiary hałasu w pomieszczeniach chronionych

Do sierpnia 2024 r. w obowiązywała naszym kraju polska norma z lat osiemdziesiątych XX wieku, dotycząca pomiaru hałasu w budynkach [11]. Norma ta została ustanowiona w innych uwarunkowaniach społeczno-politycznych, a przede wszystkim w innym stanie technik pomiarowych i budowlanych. W ostatnim czasie wynikła potrzeba nowelizacji norm, gdyż nie odpowiadają standardom nowoczesnego budownictwa ani współczesnym technikom pomiarowym zawartym w przyjętych w Polsce normach europejskich [12, 13].

Potrzeba nowelizacji normy dotyczącej dopuszczalnych poziomów hałasu w pomieszczeniach wynika przede wszystkim z faktu, że ustanowiono dwie nowe normy europejskie [14, 15] dotyczące pomiarów poziomu hałasu przenikającego do pomieszczeń od urządzeń wyposażenia technicznego, zainstalowanych na stałe w budynku, takich jak urządzenia grzewcze i chłodzące, instalacje sanitarne, wentylacje mechaniczne, windy, zsypy, pompy, drzwi garażowe i inne pomocnicze urządzenia. Normy te powinny zastąpić polską normę, wg której dotychczas wykonywano pomiary hałasu.

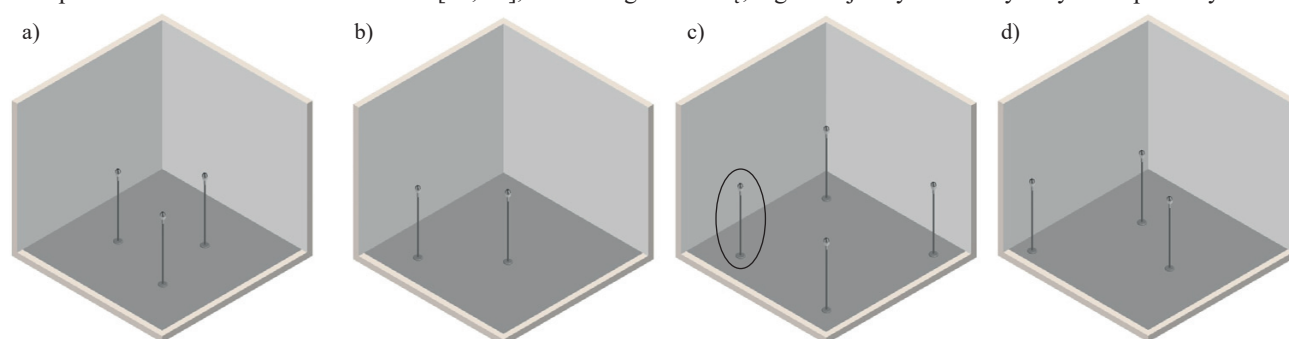


Fig. 1. Location of measurement points characteristic for each of the discussed testing methods: a) PN-B-02156; b) PN-EN ISO 10052; c) and d) PN-EN ISO 16032 (in Figure 1c the point with the highest L_C level is indicated). Details concerning measuring points are given in Table 1
Rys. 1. Umiejscowienie punktów pomiarowych charakterystyczne w przypadku każdej z omawianych metod badawczych: a) PN-B-02156; b) PN-EN ISO 10052; c) i d) PN-EN ISO 16032 (na rysunku 1c zaznaczono punkt o najwyższym poziomie L_C). Szczegóły dotyczące lokalizacji punktów pomiarowych podano w tabeli 1

the measurement of noise levels penetrating into rooms from permanently installed service equipment, such as heating and cooling devices, sanitary installations, mechanical ventilation systems, lifts, chutes, pumps, garage doors, and other auxiliary devices. These standards are intended to replace the Polish standard which has been applied so far for noise measurements.

The simplified noise measurement method specified in the PN-EN ISO 10052 standard is, in principle, similar to the method applied according to the Polish standard currently in force. In accordance with the Polish standard, only the A-weighted sound level is measured inside the room: the equivalent value for steady noise, or the maximum value (slow time-weighting) for non-steady noise.

The methods differ in the procedure for determining the final measurement result. According to the 1980s standard, the highest measured value shall be corrected by subtracting a background noise correction (ranging from 0 to -3 dB, depending on the difference between the measured noise level and the background noise level). In the case of unfurnished rooms, an additional correction for the room's sound absorption shall also be applied. For the assessment of steady noise, the equivalent sound level shall be determined not for the equipment's operating cycle (as specified in European standards), but for a reference time period of 30 minutes at night and 8 hours during the day, taking into account possible interruptions in the equipment's operation. Moreover, according to the Polish standard, the sound level may only be assessed if the difference between the measured A-weighted sound level and the background noise level exceeds 3 dB. In contrast, according to the European standards, if this difference is less than 6 dB, this fact must simply be noted in the test report.

The noise measurement method according to PN-EN ISO 16032 is a more accurate method compared to PN-EN ISO 10052. However, it is considerably more time-consuming. Measurements are conducted over a greater number of measurement cycles; in addition, the reverberation time of the room under assessment must also be determined. The final A- or C-weighted sound pressure levels, calculated from the results of measurements performed in octave bands within a narrower frequency range (63–8000 Hz), may differ from those obtained using the simplified method. Nevertheless, this method enables the identification of noise presence and assessment of its annoyance, even for noise with very low A-weighted sound pressure levels (20–25 dB), which cannot be evaluated using single-number indicators, as well as in cases where the difference between the noise and the background is minimal. Furthermore, it allows for the characterization of the noise (e.g., tonal or low-frequency components) and the identification of its most annoying constituents. The essential differences between the methods are summarized in Table 1.

Measurements

The noise measurements were carried out in two separate rounds: one for the source generating steady noise (Photo 1) and the other for the source generating non-steady noise (Photo 2). The details of the measurement procedure are presented in Table 2.

Uproszczona metoda pomiarów hałasu podana w normie PN-EN ISO 10052 jest w zasadzie zbliżona do metody wg obowiązującej w Polsce normy, zgodnie z którą mierzy się w pomieszczeniu tylko poziom dźwięku A – średni w przypadku hałasu ustalonego lub maksymalny (słowy) – w przypadku hałasu o poziomach niestabilnych.

Metody różnią się sposobem wyznaczania ostatecznego wyniku pomiaru. Zgodnie z normą z lat osiemdziesiątych XX wieku od największego wyniku pomiaru należy odjąć poprawkę wynikającą z wpływu tła akustycznego (od 0 do -3 dB, w zależności od różnicy pomiędzy poziomem hałasu a poziomem tła) oraz, w przypadku pomieszczeń nieumeblowanych, również poprawkę wynikającą z wpływu chłonności akustycznej pomieszczenia. Do oceny hałasu ustalonego należy wyznaczyć poziom równoważny dotyczący nie cyklu pracy urządzenia (jak w normach europejskich), lecz odcinka czasu równego $1/2$ h w nocy i 8 h w ciągu dnia, z uwzględnieniem ewentualnych przerw w pracy urządzenia. Ponadto zgodnie z polską normą poziom dźwięku można oceniać tylko wówczas, gdy różnica między zmierzonym poziomem dźwięku A a poziomem tła akustycznego jest większa od 3 dB, a w przypadku normy europejskiej, jeżeli różnica jest mniejsza niż 6 dB, należy ten fakt odnotować w raporcie.

Metoda pomiaru hałasu wg PN-EN ISO 16032 jest bardziej dokładna niż metoda wg PN-EN ISO 10052, ale jest bardzo czasochłonna. Bada się większą liczbę cykli pomiarowych, a także należy zmierzyć czas pogłosu w ocenianym pomieszczeniu, a poziomy dźwięku A lub C wyznaczone jako wynik końcowy – z pomiarów w pasmach oktawowych, w przypadku zawężonego zakresu częstotliwości (63 – 8000 Hz), mogą różnić się od wartości wyznaczanych metodą uproszczoną. Metoda ta pozwala jednak ustalić występowanie hałasu i określić jego uciążliwość, nawet w przypadku hałasu o bardzo małym poziomie dźwięku A (20 – 25 dB), którego nie udaje się oceniać za pomocą jednoliczbowych wskaźników, a także w przypadku małej różnicy pomiędzy hałasem a tłem. Możliwe jest też określenie charakteru hałasu (np. tonalny czy niskoczęstotliwościowy) i wskazanie najbardziej uciążliwych składowych. W tabeli 1 przedstawiono porównanie wszystkich metod badawczych.

Badania

Pomiary hałasu wykonywano w dwóch rundach, osobno w przypadku źródła generującego hałas ustalony (fotografia 1) i hałas niestabilny (fotografia 2). Szczegóły przedstawiono w tabeli 2.

Pomiary wykonywano w godzinach dziennych. Każde laboratorium badawcze biorące udział w badaniach porównawczych miało za zadanie wykonać badania w czterech etapach, które opisano w tabeli 3.

Etapy 1 i 2 służyły wyodrębnieniu zmienności pochodzącej od samego pomiaru i zmienności pochodzącej od powtarzalności i odtwarzalności wyboru punktów pomiaru. W programie porównań brało udział wiele laboratoriów (tabela 4), przy czym nie wszystkie raportowały wyniki uzyskane w czterech etapach.

Table 1. Basic differences between the sound level measurement methods specified in presented test methods

Tabela 1. Zasadnicze różnice między metodami pomiarowymi poziomów dźwięku określonymi w polskiej i europejskich normach pomiarowych

Standards/ Normy	PN-87/B-02156	PN-EN ISO 10052	PN-EN ISO 16032
General requirements/ Wymagania ogólne	a) The doors and windows should be closed during the measurement. If air exchange is required through the openings, the measurements should be carried out with open doors and windows/ drzwi i okna w czasie pomiaru powinny być zamknięte, a w przypadku jeżeli wymagana jest wymiana powietrza przez otwory, pomiary przeprowadza się przy ich otwarciu b) Only two persons operating the sound analyser can stay in the room during the measurement/ podczas pomiaru w pomieszczeniu mogą przebywać tylko dwie osoby obsługujące miernik c) Any noise sources have to be turned off in the test room/ w badanym pomieszczeniu należy wyłączyć źródła jakiegokolwiek hałasu d) Only the equipment and objects which are the part of the test room equipment can remain in the room/ w badanym pomieszczeniu mogą znajdować się tylko urządzenia i przedmioty stanowiące jego wyposażenie	Carry out the measurements with closed doors and windows and open roller shutters/ pomiary należy przeprowadzić przy drzwiach i oknach zamkniętych i otwartych żaluzjach	Carry out the measurements with closed doors and windows. The person doing the measurements should stay outside the room/ pomiary należy przeprowadzić przy drzwiach i oknach zamkniętych; osoba wykonująca pomiary powinna znajdować się na zewnątrz pomieszczenia
Number and location of measurement points/ Liczba punktów pomiarowych	No less than 3, located as follows:/ nie mniejsza niż 3, usytuowane: – at the height of 1.2 ± 0.1 m/na wysokości $1,2 \pm 0,1$ m, – 1 m above the service equipment/ powyżej 1 m od urządzenia technicznego, – 1.5 m from the windows/1,5 m od okien, – 0.5 m from the operator/0,5 m od obsługującego (see Fig. 1a/patrz rysunek 1a)	Two set positions/ dwie ustalone pozycje: 1) Close to a visible corner, with the hardest acoustic surface/ blisko widocznego rogu, o powierzchni akustycznie najbardziej twardej 2) In the diffusion field of the room/ w polu rozproszonym pomieszczenia (see Fig. 1b/ patrz rysunek 1b)	Three set positions/ trzy ustalone pozycje: 1) In the corner of the room, established based on the highest value of the C-weighted sound pressure level, 0.5 m away from the walls and above the floor/ w rogu pomieszczenia, określona na podstawie najwyższej wartości poziomu dźwięku C 0,5 m od ścian i nad podłogą 2) In the diffusion field of the room/ w polu rozproszonym pomieszczenia 3) In the diffusion field of the room? w polu rozproszonym pomieszczenia Minimum distance/ minimalna odległość: – between points 1 and 2, and 2 and 3 should be 1.5 m/ między punktami 1 a 2 i 3 powinna wynosić 1,5 m, – between points 2 and 3 should be 0.75 m/ między punktami 2 a 3 – 0,75 m – Height above the floor: 0.5 – 1.5 m? wysokość nad podłogą: 0,5 – 1,5 m (patrz rysunki 1c i 1d)
Measurement time/ Czas pomiaru	It should be assumed depending on the character of the noise and it can be shorter than the assessment duration. The measurement time (duration) for an unspecified noise should be selected so that it covers all changes in the sound level characteristic of the situation or noise source/ należy przyjmować w zależności od charakteru hałasu i może być krótszy niż czas oceny; przy hałasie nieustalonym, czas pomiaru należy tak dobrać, aby występowały w nim wszystkie zmiany poziomu dźwięku charakterystyczne w przypadku danej sytuacji lub źródła hałasu	The measurement time in each point should correspond to at least one working cycle of the device/ czas pomiaru w każdym z punktów powinien odpowiadać przynajmniej jednemu cyklowi pracy urządzenia	A single measurement time should correspond to at least one working cycle of the device/ czas pojedynczego pomiaru powinien odpowiadać przynajmniej jednemu cyklowi pracy urządzenia

The measurements were conducted during daytime hours. Each testing laboratory participating in the inter-laboratory comparisons was required to carry out the measurements in four stages, which are described in Table 3.

Stages 1 and 2 were intended to separate the variability originating from the measurement process itself and the variability resulting from the repeatability and reproducibility of the measurement point selection.

Wyniki badań i ich analiza

Przed rozpoczęciem pomiarów przez uczestników, organizator przeprowadził badanie stabilności źródła dźwięku.

Runda I: pomiary wykonywane były przez trzy zespoły badawcze w różnych porach dnia. Odchylenie standardowe powtarzalności oszacowane zgodnie z normą ISO 5725–2 [16], wyniosło:

- równoważny poziom dźwięku $L_{Aeq,T}$: $s_r = 0,63$.

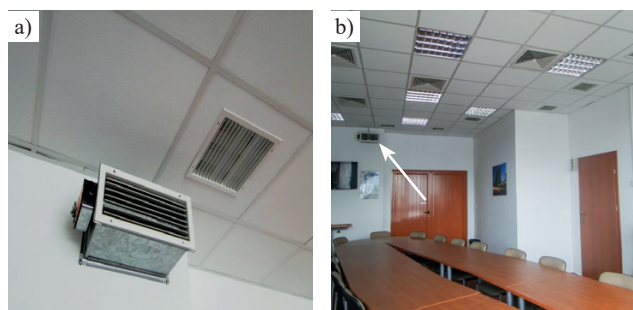


Photo 1. Localization of the source of stable noise (round I) – view: a) of the source; and b) office space

Fot. 1. Lokalizacja źródła hałasu ustalonego (runda I) – widok: a) źródła; b) pomieszczenia biurowego

Table 2. Details describing the indoor sound level test rounds

Tabela 2. Szczegóły opisujące rundy badawcze poziomu dźwięku w pomieszczeniach

	Round I/Runda I	Round II/Runda II
Type of noise/ Rodzaj hałasu	steady noise/ ustalony	non-steady noise/ nieustalony
Type of the noise/ source Źródło hałasu	Ventilation unit 50 kW/ centrala wentylacyjna 50 kW	electric strike/ elektrozaczep
Room type, area/ Rodzaj pomieszczenia, powierzchnia	Office room 47 m ² / pokój biurowy 47 m ²	Office room 17,7 m ² / pokój biurowy 17,7 m ²
Measurement situation – views/ Sytuacja pomiarowa – widoki	Photo 1/fotografia 1	Photo 2/fotografia 2

Multiple laboratories participated in the comparison program (see Table 4); however, not all laboratories reported results for all four stages.

Results and their analysis

Prior to the commencement of the measurements by the participants, the organizer conducted a stability test of the sound source:

Round I: measurements were performed by three testing teams at different times of the day. The repeatability standard deviation, estimated in accordance with ISO 5725-2 [16], was:

- Equivalent continuous sound level $L_{Aeq, nT}: s_r = 0.63$

Round II: measurements were carried out in three series, each performed by a different operator. Each series included ten measurements. The repeatability standard deviations, estimated in accordance with ISO 5725-2, was:

- Maximum sound level $L_{AFmax, nT}: s_{r1} = 0.94$
- Equivalent continuous sound level $L_{Aeq, nT}: s_{r2} = 0.74$

In both rounds, one-way analysis of variance (ANOVA) was performed to assess whether the results obtained by different methods exhibit statistically significant differences. If the ANOVA test statistic $F < F_{crit}$ and the significance level $p > \alpha = 0.05$, it is concluded that the mean values do not differ significantly (table 5).

Within the scope of the first and second rounds of the study, the individual testing stages were characterized in terms of their



Photo 2. Localization of the source of unstable noise (round II) – view: a) from outside; b) from the office room

Fot. 2. Lokalizacja źródła hałasu nieustalonego (runda II) – widok: a) z zewnątrz; b) z pomieszczenia biurowego

Table 3. Description of individual research stages (applies to both measurement rounds)

Tabela 3. Opis poszczególnych etapów badawczych (dotyczy obu rund pomiarowych)

Stage/ Etap	Measurements/Pomiary
1	The sound pressure level is measured three times according to laboratory practice according to PN-EN ISO 10052/ trzykrotny pomiar parametru $L_{Aeq, nT}$ oraz $L_{AFmax, nT}$ zgodnie z PN-EN ISO 10052
2	The sound pressure level parameter is measured three times at the points indicated by the organiser/ trzykrotny pomiar parametru $L_{Aeq, nT}$ oraz $L_{AFmax, nT}$ w wyznaczonym przez organizatora punkcie
3	The sound pressure level parameter is measured according to the standard, in compliance with laboratory practice according to PN-87/B-02156/ pomiary parametru L_{Am} oraz L_{Amax} wg normy PN-87/B-02156
4	The sound pressure level parameter is measured according to the standard, in compliance with laboratory practice according to PN-EN ISO 16032/ pomiary parametru $L_{Aeq, nT}$ oraz $L_{AFmax, nT}$ wg normy PN-EN ISO 16032

Runda II: pomiary przeprowadzono w trzech seriach (każda wykonana została przez innego operatora) i w każdej wykonano dziesięć pomiarów. Odchylenie standardowe powtarzalności oszacowane zgodnie z normą ISO 5725-2, wyniosło:

- maksymalny poziom dźwięku $L_{AFmax, nT}: s_{r1} = 0,94$
- równoważny poziom dźwięku $L_{Aeq, nT}: s_{r2} = 0,74$

W obu rundach oceniono, na podstawie jednoczynnikowej analizy wariancji (ANOVA), czy wyniki uzyskane różnymi metodami wykazują istotne statystycznie różnice. W przypadku gdy statystyka testu ANOVA $F < F_{kryt}$ oraz poziom istotności $p > \alpha = 0.05$, wówczas należy uznać, że średnie wyniki badań nie różnią się w sposób istotny statystycznie (tabela 5)

W ramach badań pierwszej i drugiej rundy poszczególne etapy badań scharakteryzowano, biorąc pod uwagę ich precyzję. **Odchylenie standardowe powtarzalności i odtwarzalności** oszacowano w przypadku etapów 1 i 2 oraz etapu 4 w poszczególnych pasmach oktaowych [16], biorąc pod uwagę serie po 3 wyniki każdego z laboratoriów. W etapie 3 i w odniesieniu do ostatecznego wyniku etapu 4 otrzymano pojedyncze wyniki i jako odchylenie standardowe odtwarzalności przyjęto odchylenie wyników w poszczególnych laboratoriach.

Table 4. Number of research laboratories participating in comparative studies

Tabela 4. Liczba laboratoriów badawczych biorących udział w badaniach porównawczych

	Stage 1/ Etap 1	Stage 2/ Etap 2	Stage 3/ Etap 3	Stage 4/ Etap 4
Round I/ Runda I	11/12	12/12	12/12	9/12
Round II/ Runda II	15/19	18/19	19/19	11/19

Table 5. Results of statistical analysis

Tabela 5. Wyniki analizy statystycznej

Round/ Runda	F statistics/ Statystyka F	F _{kryt}	P value/ Wartość p	Result assessments/Ocena wyników
Round I/Runda I	0,77	2,83	0,51	In both rounds there are no statistically significant differences between the results obtained with different research methods (stages 1, 2, 3, 4)/ w obu rundach nie ma istotnych statystycznie różnic pomiędzy wynikami uzyskanymi różnymi metodami badań (etapy 1, 2, 3, 4)
Round II/ Runda II	1,63	2,79	0,19	

precision. The repeatability and reproducibility standard deviations were estimated for stages 1 and 2, as well as for stage 4, in individual octave bands [15], based on series of three results for each laboratory. In stage 3 and for the final result of stage 4, single measurement results were obtained, and the reproducibility standard deviation was determined from the variability between laboratory results.

Figure 2 presents the precision of the individual methods expressed as the coefficient of variation, in percent, calculated as the ratio of the reproducibility standard deviation s_R to the overall mean result obtained by a given method. The obtained coefficients of variation for the single-number values L_{Aeq} and L_{Amax} reach relatively low values (less than 5%) for stages 1 and 2 in both rounds. For stages 3 and 4, the results for steady noise exhibit significantly greater variability compared to non-steady noise. In stage 3, the variability for steady noise amounts to 5.6%, while for non-steady noise it remains below 4%. In method 4, the variability of results for steady noise reaches nearly 8%.

For the coefficients of variation obtained in individual frequency bands (stage 4), variability below 4% was observed for non-steady noise at higher frequencies (in the 2000 Hz band and partially at 4000 Hz). It can also be noted that for steady noise, the coefficient of variation increases with frequency, whereas for non-steady noise it tends to decrease. This may be related to the characteristics of the noise source; however, a clear trend can be observed indicating that the coefficients of variation in individual frequency bands are significantly higher than those obtained for the single-number values.

The potential variability of results has a significant impact on the conformity assessment risk. The measurement uncertainty may be approximately estimated as the sum of the variances resulting from the testing equipment and from reproducibility:

$$u^2 = u_{pom}^2 + S_R^2$$

The expanded uncertainty at a 95% coverage probability may then be approximately expressed as:

$$U = 2 \sqrt{u_{pom}^2 + S_R^2}$$

Na rysunku 2 przedstawiono precyzję poszczególnych metod wyrażoną w postaci współczynnika zmienności, [%], jako stosunku odchylenia standardowego odtwarzalności s_R do średniej ogólnej wyniku uzyskanego daną metodą. Uzyskane wyniki współczynnika zmienności w przypadku wartości jednolicebowych L_{Aeq} oraz L_{Amax} osiągają małe wartości (mniejsze niż 5%) w etapach 1 i 2 w obu rundach. W przypadku etapów 3 i 4 wyniki badań hałasu ustalonego wykazują znacznie większą zmienność niż hałasu nieustalonego. W etapie 3 zmienność hałasu ustalonego wynosi 5,6%, a nieustalonego jest na-

dal mniejsza niż 4%. W etapie 4 zmienność wyników hałasu ustalonego osiągnęła prawie 8%.

W przypadku wyników współczynnika zmienności wartości uzyskanych w poszczególnych pasmach częstotliwości (metoda 4), otrzymano zmienność mniejszą niż 4% hałasu nieustalonego w przypadku wysokiej częstotliwości (w paśmie 2000 Hz i częściowo 4000 Hz). Zaobserwować można również, że w przypadku hałasu ustalonego współczynnik zmienności zwiększa się ze wzrostem częstotliwości, a dla nieustalonego w przybliżeniu maleje. Może to być związane z charakterystyką źródła, jednak wyraźna jest tendencja, że współczynniki zmienności w pasmach są znacznie większe od współczynników zmienności dla wartości jednolicebowych.

Zmienność wyników wpływa znacznie na ocenę zgodności. Niepewność wyniku badania można określić w przybliżeniu jako sumę wariancji pochodzącej od wyposażenia badawczego i wariancji odtwarzalności:

$$u^2 = u_{pom}^2 + S_R^2$$

Niepewność rozszerzona, przy prawdopodobieństwie rozszerzenia 95%, będzie natomiast wynosić w przybliżeniu:

$$U = 2 \sqrt{u_{pom}^2 + S_R^2}$$

W przypadku przedstawionych wyników będzie się więc kształtowała, zależnie od zastosowanej metody pomiaru, na poziomie od 8 do ponad 16% w przypadku wartości jednolicebowych i nawet powyżej 50% w pasmach.

Uzyskaną w badaniach zmienność przejawiającą się jako różnica pomiędzy wynikami w warunkach powtarzalności, potwierdza fakt, że analizowane metody charakteryzują się specyficznymi ustaleniami dotyczącymi stosowanego wyposażenia, lokalizacją punktów pomiarowych, czasem oceny, liczbą pomiarów, sposobem przeliczenia wyników pomiarów na ostateczny wynik oraz innymi niekontrolowanymi czynnikami, jak tło akustyczne. Każde laboratorium samodzielnie dobierało punkty pomiarowe oraz czas oceny. Ze względu na fakt, że laboratoria wykonywały badania w różnym terminie, zmienne było tło akustyczne pod względem jego poziomu oraz widma dźwięku. Czynniki te mogły mieć wpływ

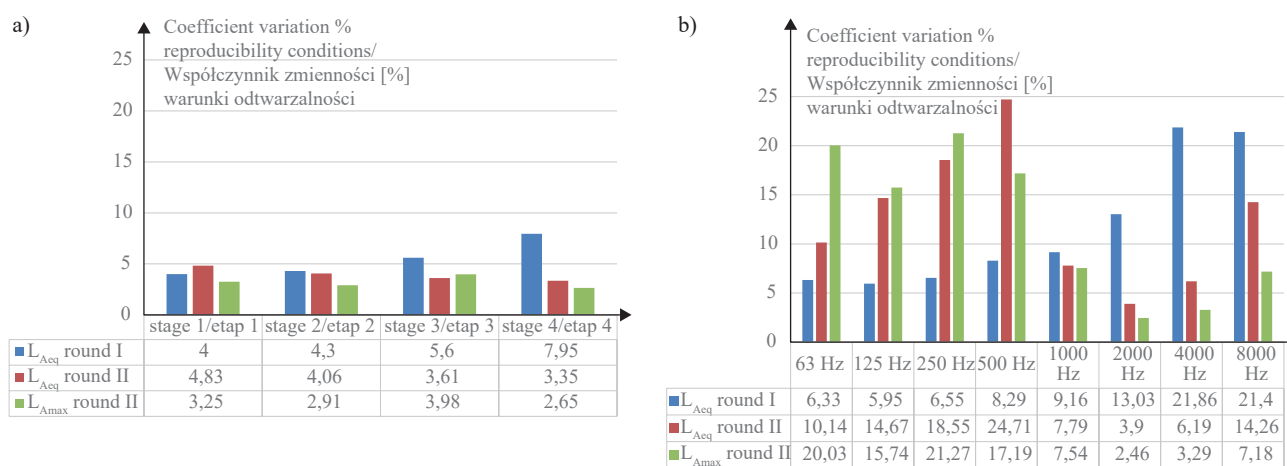


Fig. 2. Comparison of method precision expressed as the inter-laboratory reproducibility standard deviation relative to the overall mean [%]: a) single-number indicators corresponding to the respective test methods; b) indicators characterizing individual octave bands for specific frequencies (test method PN-EN ISO 16032)

Rys. 2. Porównanie precyzji metod wyrażonej jako odchylenie standardowe odtwarzalności międzylaboratoryjnej odniesione do średniej ogólnej [%]: a) jednolicezbowe wskaźniki w poszczególnych metodach badań; b) wskaźniki charakteryzujące poszczególne pasma oktawowe w przypadku poszczególnych częstotliwości (metoda badawcza PN-EN ISO 16032)

The variability observed in the study, manifested as differences between results under repeatability conditions, confirms that the analyzed methods are characterized by specific arrangements regarding the equipment used, the location of measurement points, the evaluation time, the number of measurements, the way measurement results are converted into the final outcome, and other uncontrollable factors such as acoustic background. Each laboratory independently selected the measurement points and evaluation time. Since the laboratories conducted the tests at different times, the acoustic background varied in both level and sound spectrum. These factors may have influenced the differences in results between the individual testing methods (see Figure 2a). In each testing round, different noise sources were analyzed, characterized by distinct acoustic backgrounds and operational characteristics, which affected the results obtained in particular frequency bands (see Figure 2b). Only the number of measurements and the method of processing the results were consistent for all participants in the study. The presented analyses show that the specificity of individual methods affects the level of assessment risk, while it does not influence the reduction of uncertainty. Each method exhibits a different level of precision, meaning that the same result obtained by different methods may entail varying risks of making an incorrect decision related to noise assessment.

Summary

This paper presents the results of analyses concerning the influence of the testing method for determining the sound levels from building service equipment on measurement outcomes in indoor environments. The study includes the results of inter-laboratory comparisons involving several laboratories. The measurements were conducted using three different testing methods: the Polish testing standard from 1987 and two current European standards.

The analyses demonstrated that the methods yield results which are statistically equivalent; however, the specific characteristics

na różnice wyników między poszczególnymi metodami badań (rysunek 2a). W poszczególnych rundach badań analizie poddano różne źródła hałasu charakteryzujące się różnym tłem akustycznym oraz różnym charakterem pracy, co miało wpływ na uzyskane wyniki w poszczególnych pasmach częstotliwości (rysunek 2b). Tylko liczba pomiarów oraz sposób przeliczenia wyników były jednakowe w przypadku wszystkich uczestników badania. Przedstawione analizy wykazują, że specyfika poszczególnych metod wpływa na poziom ryzyka oceny, a jednocześnie nie ma wpływu na redukcję niepewności. Każda z metod charakteryzuje się inną precyzją, co powoduje, że taki sam wynik otrzymany każdą z metod może dać inne ryzyko podjęcia niewłaściwej decyzji związanej z oceną hałasu.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono wyniki analizy wpływu metody badań poziomu dźwięku w pomieszczeniach, pochodzącego od urządzeń wyposażenia technicznego budynku, na wynik pomiaru. Przedstawiono wyniki badań przeprowadzonych z udziałem kilkunastu laboratoriów. Badania przeprowadzono trzema różnymi metodami: wg polskiej normy z 1987 r. oraz dwóch aktualnych norm europejskich.

Wyniki analizy wykazały, że stosowane metody dają wyniki, które są statystycznie równoważne, ale specyfika poszczególnych metod może wpływać na poziom ryzyka oceny. Jednocześnie każda z metod charakteryzuje się inną precyzją, co powoduje, że taki sam wynik otrzymany każdą z metod może dać inne ryzyko podjęcia niewłaściwej decyzji związanej z oceną hałasu.

Wnioski z badań wskazują na potrzebę standaryzacji procedur pomiarowych, regularnej kalibracji urządzeń oraz ciągłego szkolenia osób wykonujących pomiary w celu poprawy odtwarzalności pomiarów hałasu, co jest kluczowe do skutecznej oceny i zarządzania hałasem w różnych badanych środowiskach.

of each method may affect the level of assessment risk. Each method exhibits a different level of precision, which means that identical results obtained using different methods may lead to varying risks of incorrect decision-making in noise assessment.

The conclusions of this study highlight the need for standardization of measurement procedures, regular calibration of equipment, and continuous training of personnel performing the measurements, in order to improve the reproducibility of noise measurements, which is essential for effective noise assessment and management across different testing environments.

It should be noted that the present experiment was conducted under conditions in which the measurand remained relatively stable in both time and space. Significant temporal and spatial variability of noise (at different points within a room) may indicate that the PN-EN ISO 16032 method, which involves measurements at a larger number of points and across all frequency bands, would be more appropriate. Further research in this area will be continued.

In the context of practical engineering applications of the analyzed standards, attention should be paid to the guidelines provided in the PN-B-02151-2:2018 standard. The A-weighted sound level in rooms intended for human occupancy in residential buildings, collective housing buildings, and public utility buildings should be controlled using the simplified method in accordance with PN-EN ISO 10052. In special or disputed cases, noise spectrum measurements should be carried out in accordance with PN-EN ISO 16032.

Photo: author

Acknowledgements. The author would like to express her gratitude to dr. Eng. Ewa Szewczak for her invaluable guidance and support during the analysis of the research results.

Received: 24.06.2025

Revised: 29.08.2025

Published: 21.11.2025

Należy wziąć pod uwagę, że opisany eksperyment prowadzony był w warunkach stabilnej czasowo i przestrzennie wielkości mierzonej. Duża zmienność hałasu w czasie i przestrzeni (różnych punktach pomieszczenia) może wykazać, że bardziej odpowiednia będzie metoda PN-EN ISO 16032, która zapewnia pomiar w większej liczbie punktów i we wszystkich pasmach. Dlatego też dalsze badania będą kontynuowane.

W kontekście praktycznego zastosowania analizowanych norm należy mieć na uwadze wytyczne podane w normie PN-B-02151-2:2018 [1]. Poziom dźwięku A w pomieszczeniach przeznaczonych na pobyt ludzi w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy kontrolować metodą uproszczoną wg PN-EN ISO 10052. W przypadkach szczególnych i spornych należy wykonać pomiary widma hałasu zgodnie z PN-EN ISO 16032.

Fotografie: autorka

Dziękuję dr inż. Ewie Szewczak za wsparcie i nieocenione wskazówki podczas analizy wyników badań.

Artykuł wpłynął do redakcji: 24.06.2025 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 29.08.2025 r.

Opublikowano: 21.11.2025 r.

Literature

- [1] PN-B-02151-2:2018, Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 2: Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku A w pomieszczeniach, 2018.
- [2] Rozporządzenie Ministra Rozwoju i Technologii w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie – projekt z 9 czerwca, 2025.
- [3] Przysucha B, Batko W, Szela A. Analysis of the Accuracy of Uncertainty Noise Measurement, Archives of Acoustics 40 (2015) 183–189. <https://doi.org/10.1515/aoa-2015-0020>.
- [4] Czichos H, Saito T, Smith L. Springer Handbook of Metrology and Testing, Springer Berlin Heidelberg, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-16641-9>.
- [5] ISO/IEC-17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories, 2017.
- [6] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement. Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995), 2008.
- [7] JCGM 100:2008, Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, 2008.
- [8] JCGM 106:2012, Evaluation of Measurement Data: The Role of Measurement Uncertainty in Conformity Assessment, 2012. <https://www.bipm.org/en/publications/guides/>.
- [9] Walker WE, Harremoës P, Rotmans J, van der Sluijs JP, van Asselt MBA, Janssen P, Kreyer von Krauss MP. Defining Uncertainty: A Conceptual Basis for Uncertainty Management in Model-Based Decision Support, Integrated Assessment 4 (2003) 5–17. <https://doi.org/10.1076/iaij.4.1.5.16466>.
- [10] Nowicka E, Szewczak E. Indoor sound pressure level from service equipment in buildings: Influence of testing methods on measurement results, Archives of Acoustics 46 (2021) 547–559. <https://doi.org/10.24425/aoa.2021.138147>.
- [11] PN-B-02156, Akustyka budowlana -- Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach (Building acoustics -- Methods for measurement of sound power of A-level in buildings), 1987.
- [12] Szudrowicz B, Mirowska M, Nowicka E. Kierunki nowelizacji krajowych norm dotyczących akustyki budowlanej, in: 59th Open Seminar on Acoustics Joint with Workshop on Strategic Management of Noise Including Aircraft Noise, Polskie Towarzystwo Akustyczne Oddział Poznański, 2012: pp. 251–254.
- [13] Nowicka E. Kierunki nowelizacji krajowej normy dotyczącej dopuszczalnych poziomów hałasu w pomieszczeniach, Materiały Budowlane 8 (2016) 34–35. <https://doi.org/10.15199/33.2016.08.09>.
- [14] PN-EN ISO 10052:2007, Akustyka – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych oraz hałasu od urządzeń wyposażenia technicznego – Metoda uproszczona, 2007.
- [15] PN-EN ISO 16032:2006, Akustyka – Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego od urządzeń wyposażenia technicznego w budynkach – Metoda dokładna, 2006.
- [16] ISO 5725-2, Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Part 2: Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method, 1994.