

Paweł Tomczyk*

ZASTOSOWANIE METOD MLS I SWEPT SINE DO POMIARÓW AKUSTYCZNYCH W WARUNKACH WYSOKIEGO TŁA AKUSTYCZNEGO

W artykule przedstawiono ogólne informacje na temat metod pomiarowych z wykorzystaniem odpowiedzi impulsowej, opisano wymagania nowych metod pomiarowych oraz podano wyniki pomiarów przeprowadzonych z zastosowaniem nowych technik (MLS, Swept Sine), a także dokonano porównania wyników otrzymanych przy użyciu nowych technik z wynikami otrzymywanymi metodami klasycznymi.

1. Wprowadzenie

Klasyczne metody pomiarów izolacyjności akustycznej są ograniczone do przypadków, w których stosunek sygnału do szumu (tła akustycznego) wynosi co najmniej 6 dB. Jednakże zaleca się, aby stosunek ten wynosił 15 dB, gdyż w przypadkach pośrednich konieczne jest wprowadzanie poprawki obliczeniowej, która nie zawsze pokrywa się całkowicie z rzeczywistością.

Stosowane obecnie konstrukcje przegród budowlanych, zwłaszcza ściany sal kinowych i widowiskowych, charakteryzują się wysokimi parametrami akustycznymi (wskaźnikiem izolacyjności akustycznej nawet ponad 70 dB). Pomiar tego typu ścian przy poziomie tła akustycznego rzędu 25 dB wymaga wytworzenia w komorze nadawczej poziomu przekraczającego 110 dB. Wartość ta, biorąc pod uwagę objętość pomieszczeń, jest trudna, a niekiedy niemożliwa do uzyskania.

Zastosowanie nowych technik pomiarowych opartych na odpowiedzi impulsowej (MLS, Swept Sine), wykorzystujących zaawansowane algorytmy matematyczne, umożliwia pomiary tych parametrów o kilkanaście dB wyższych niż w przypadku metod klasycznych.

Stosowanie nowych metod znacznie upraszcza pomiary izolacyjności akustycznej w warunkach terenowych. Metody te są „odporne” na zakłócenia zewnętrzne, co w przypadku gdy 90% pomiarów terenowych realizowane jest na obiektach znajdujących się w trakcie

* mgr inż. – Zakład Akustyki ITB

budowy, stanowi fakt nie do przecenienia. W praktyce w warunkach budowy niemożliwe jest utrzymanie absolutnej ciszy, a zastosowanie nowych metod pomiarowych pozwala na wykonanie badania, którego nie można przeprowadzić metodami klasycznymi.

2. Stan wiedzy

Stochastyczne metody analizy sygnałów do pomiaru zjawisk transmisji dźwięku były już rozwijane w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku, jednakże brak dostępnej mocy obliczeniowej ograniczał ich stosowanie poza najlepiej wyposażonymi laboratoriami badawczymi. Rozwój techniki cyfrowej doprowadził do upowszechnienia urządzeń pomiarowych do przetwarzania sygnałów dźwiękowych z wykorzystaniem rozszerzonej cyfrowej analizy sygnału. Zastosowanie nowych metod pomiarowych może przynieść wiele korzyści w porównaniu do klasycznych metod, takich jak tłumienie szumów tła, i rozszerzony zakres pomiaru.

W 2006 r. wprowadzono międzynarodową normę EN ISO 18233:2006, która w tym samym roku została wprowadzona do zbioru polskich norm metodą układkową.

W normie PN-EN ISO 18233:2006 *Akustyka – Zastosowanie nowych metod pomiarowych w akustyce budynku i pomieszczeń* [1] podano wskazówki i określono wymagania odnośnie do zastosowania nowych metod do pomiarów właściwości akustycznych budynków i elementów budynku. Norma może być stosowana do pomiarów takich, jak izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród i pomiar czasu pogłosu, a także innych parametrów akustycznych w pomieszczeniach.

Propagacja dźwięku w pomieszczeniu, jak również przenoszenie dźwięku pomiędzy pomieszczeniami, mogą być traktowane jako niezmiennie w czasie i możliwe jest ustalenie związku między pobudzeniem a odpowiedzią na to pobudzenie. Odpowiedź impulsowa jest podstawą nowych metod pomiarowych.

Transmisja dźwięku w pomieszczeniu

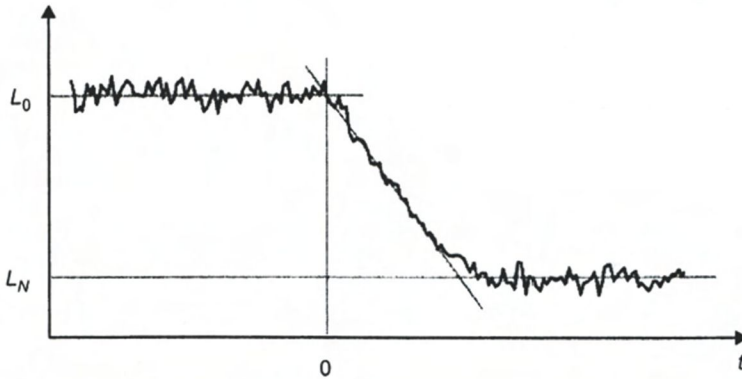
Do pomiaru czasu pogłosu włączane jest źródło dźwięku na czas wystarczający do uzyskania stałego poziomu. Następnie źródło się wyłącza i rejestrowany jest zanik dźwięku w pomieszczeniu.

Rejestrowanie poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji czasu zawiera informacje o uzyskanych stacjonarnych poziomach ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu, jak również czasie pogłosu. Typowy przebieg poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji czasu przedstawiono na rysunku 1. Stacjonarny poziom ciśnienia akustycznego przed wyłączeniem źródła dźwięku jest zarejestrowany dla $t < 0$, a informacje na temat zaniku dźwięku – dla $t > 0$. Zanik dźwięku może być dalej przetwarzany w celu uzyskania czasu pogłosu.

Klasyczne metody pomiaru emitowanego dźwięku w pomieszczeniach prowadzą do uzyskania wyników charakteryzujących się pewną stochastyczną zmiennością, która może być określona przez odchylenie standardowe. Aby otrzymać wynik zbliżony do wartości oczekiwanej, wymagana jest pewna liczba powtórzeń.

Wykazano, że propagację dźwięku w konkretnym punkcie obserwacji można uzyskać bezpośrednio (bez uśredniania) poprzez przetwarzanie odpowiedzi impulsowej między

sygnałem wzbudzenia (głośnik) a punktem obserwacji (mikrofon). Odnosi się to zarówno do poziomu stacjonarnego, jak i do krzywej zaniku, o ile rozpatrywany układ można uznać za niezmienny w czasie.



L_0 – stacjonarny poziom ciśnienia akustycznego przed wyłączeniem źródła
 L_N – tło akustyczne
 $t = 0$ – wyłączenie źródła dźwięku

Rys. 1. Typowy przebieg czasowy poziomu ciśnienia akustycznego
 Fig. 1. Typical level versus time curve

Mierzona w klasyczny sposób odpowiedź na pobudzenie dźwiękiem może teoretycznie być opisana jako splot między sygnałem pobudzenia i odpowiedzią impulsową pomieszczenia. Jednak w klasycznych metodach odpowiedź jest zapisana bezpośrednio i informacja o odpowiedzi impulsowej zazwyczaj nie jest znana.

Jeżeli w pokoju włączone jest stacjonarne źródło szumu białego przez czas wystarczający do uzyskania stacjonarnych warunków, a następnie wyłączone w chwili $t = 0$, poziom dźwięku w każdym odcinku czasu można opisać zależnością

$$L(t) = 10 \log \left[\frac{W_0}{C_{ref}} \int_t^{\infty} h^2(t) dt \right], \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie: W_0 – stała określająca moc sygnału na jednostkę szerokości pasma sygnału pobudzenia,

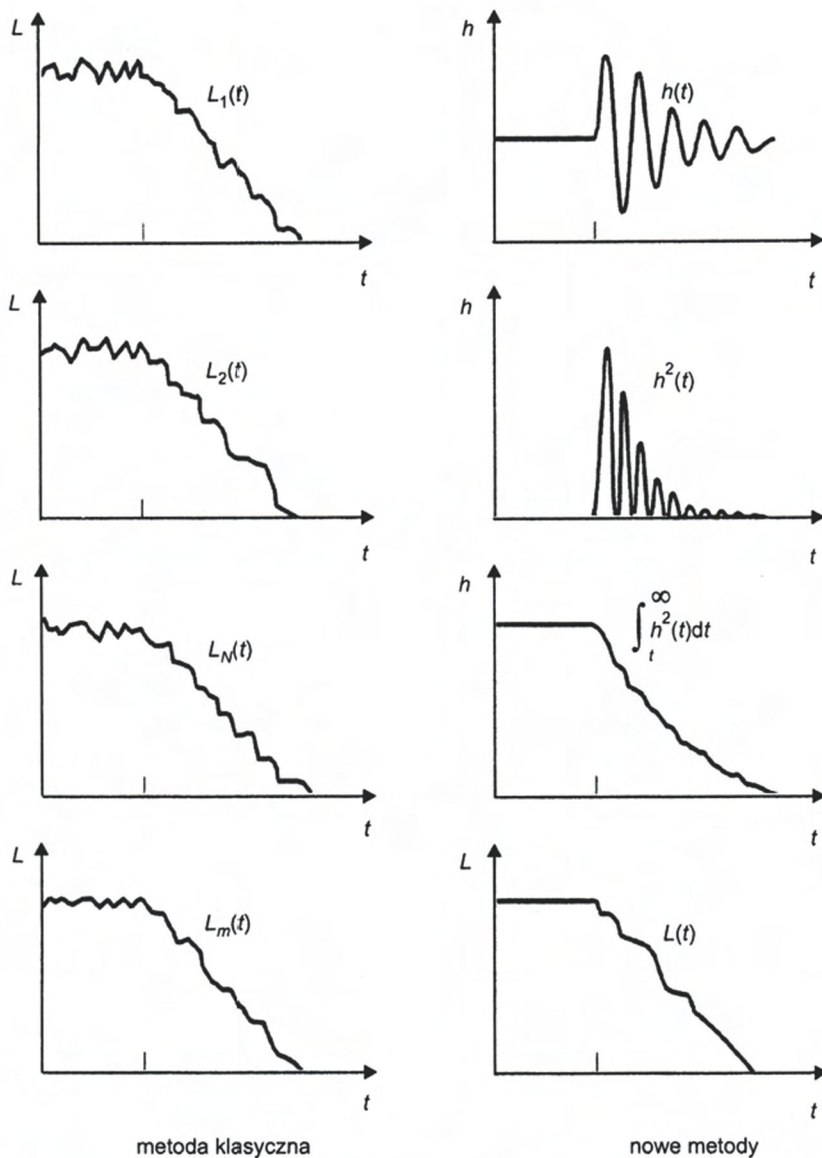
$h(t)$ – odpowiedź impulsowa,

C_{ref} – wartość odniesienia.

Zanik dźwięku odpowiada spodziewanemu zanikowi na podstawie klasycznej metody, która tradycyjnie jest w przybliżeniu linią prostą.

Równanie (1) nie uwzględnia szumu pochodzącego z zewnątrz (tła akustycznego).

Na rysunku 2 pokazano, w jaki sposób uzyskuje się przebieg poziomu ciśnienia akustycznego w funkcji czasu metodą klasyczną i nowymi metodami opartymi na odpowiedzi impulsowej.



Rys. 2. Różnica pomiędzy metodą klasyczną a nowymi metodami opartymi na odpowiedzi impulsowej
 Fig. 2. Illustration of the difference between classical method and the new methods based on impulse response

W klasycznej metodzie wartość oczekiwaną $L_m(t)$ spadku poziomu ciśnienia akustycznego uzyskujemy poprzez uśrednienie indywidualnych spadków $L_1(t)$, $L_2(t)$... $L_N(t)$. Poprzez zastosowanie nowej metody spodziewany spadek $L(t)$ wyznacza się, przetwarzając odpowiedź impulsową $h(t)$.

Transmisja dźwięku pomiędzy pomieszczeniami

Jeśli źródło dźwięku jest umieszczone w pomieszczeniu nadawczym i poziom ciśnienia akustycznego mierzy się w punkcie S (pomieszczeniu nadawczym), oczekiwany poziom ciśnienia akustycznego L_1 może być uzyskany z odpowiedzi impulsowej h_1 zgodnie z równaniem

$$L_1(t) = 10 \log \left[\frac{W_0}{C_{ref}} \int_t^{\infty} h_1^2(t) dt \right], \text{ dB} \quad (2)$$

Analogicznie, jeżeli poziom ciśnienia akustycznego mierzony jest w sąsiednim pomieszczeniu (w punkcie R), oczekiwany poziom L_2 można uzyskać z odpowiedzi impulsowej h_2 , zgodnie z równaniem

$$L_2(t) = 10 \log \left[\frac{W_0}{C_{ref}} \int_t^{\infty} h_2^2(t) dt \right], \text{ dB} \quad (3)$$

Różnica poziomu ciśnienia akustycznego D między pomieszczeniem nadawczym a pomieszczeniem odbiorczym może być określona jako

$$D = L_1 - L_2 = 10 \log \left[\frac{\int_0^{\infty} h_1^2(t) dt}{\int_0^{\infty} h_2^2(t) dt} \right], \text{ dB} \quad (4)$$

Zmienne opisujące moc sygnału W_0 , jak i wartość odniesienia C_{ref} , zostały wyeliminowane z równania w wyniku różnicy poziomów.

Metody oparte na odpowiedzi impulsowej mogą być stosowane także do pomiaru izolacji akustycznej fasad.

Funkcja odpowiedzi częstotliwościowej

Sygnal sinusoidalny ma wyjątkową pozycję w teorii sygnałów w układach niezmiennych w czasie. Odpowiedzią na pobudzenie sinusoidalne zawsze będzie sinusoida z tą samą częstotliwością, jednakże amplituda i faza mogą ulec zmianie. Informacja o zmianie amplitudy i fazy pomiędzy wejściem i wyjściem – jako funkcja częstotliwości – nazywana jest funkcją odpowiedzi częstotliwościowej. Funkcja odpowiedzi częstotliwościowej daje pełną informację o odpowiedzi na każdy sygnał wejściowy.

Funkcję odpowiedzi częstotliwościowej uzyskujemy poprzez transformację Fouriera odpowiedzi impulsowej:

$$H(\omega) = F[h(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-j\omega t} dt \quad (5)$$

Równanie (2) może być przekształcone zgodnie z twierdzeniem Parsewala:

$$L = 10 \log \left[\frac{W_0}{C_{ref}} \int_0^{\infty} h^2(t) dt \right] = 10 \log \left[\frac{W_0}{2\pi C_{ref}} \int_{-\infty}^{\infty} H(\omega)^2 d\omega \right] \quad (6)$$

Jeżeli połączy się równania (4) i (6), różnica poziomu ciśnienia akustycznego D między pomieszczeniem nadawczym a pomieszczeniem odbiorczym dla pasma o dolnej częstotliwości $f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi}$ i górnej częstotliwości $f_2 = \frac{\omega_2}{2\pi}$ może być wyznaczona z zależności

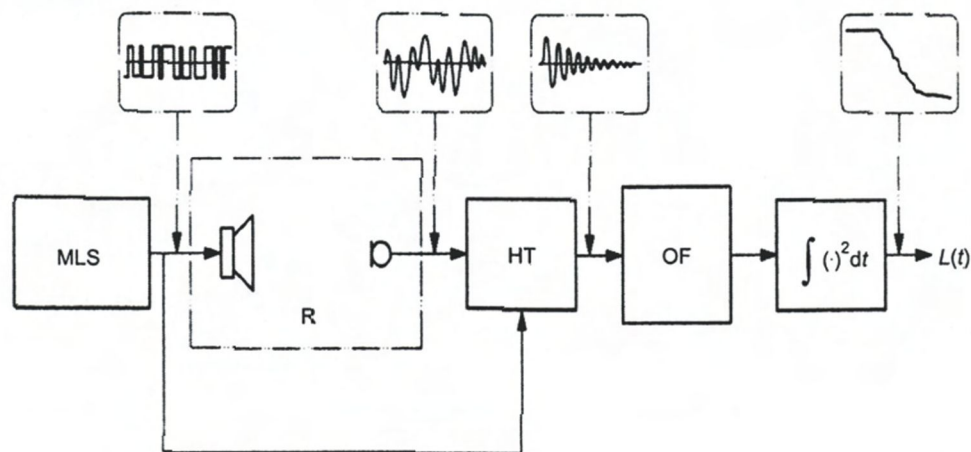
$$D = L_1 - L_2 = 10 \log \left[\frac{\int_{\omega_1}^{\omega_2} |H_1(\omega)|^2 d\omega}{\int_{\omega_1}^{\omega_2} |H_2(\omega)|^2 d\omega} \right], \text{ dB} \quad (7)$$

Istnieje kilka metod pomiaru odpowiedzi impulsowej. Norma PN-EN ISO 18233:2006 [1] do rozszerzenia możliwości pomiarowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych (seria norm PN EN ISO 140: części 3–5 [2], [3], [4] i 9–12 [5], [6], [7], [8] oraz czasu pogłosu (seria norm PN EN ISO 3382 [9], [10]) rekomenduje dwie nowe metody odpowiedzi impulsowej:

- metoda MLS (Maximum Length Sequence),
- metoda SS (Swept Sine).

2.1. Metoda MLS

Sygnał MLS (Maximum Length Sequence) to cyfrowy sygnał pseudolosowy. Sygnał MLS składa się z sekwencji kolejnych próbek przełączanych pomiędzy dwoma wartościami w sposób prawie losowy. Z tego powodu akustyczny sygnał MLS brzmi w odbiorze subiektywnym jak szum.



Rys. 3. Schemat blokowy metody MLS: MLS – generator sygnału MLS, R – pokój, HT – transformacja Hadamarda, OF – filtry pasmowe

Fig. 3. Scheme for MLS process: MLS – generator for MLS signal, R – room, HT – Hadamard transformation, OF – fractional-octave filter

Do wygenerowania sygnału MLS potrzebny jest układ złożony z rejestru przesuwającego, jednej lub więcej bramek logicznych XOR oraz pętli sprzężenia podającej wyjście z dwóch lub więcej stopni z powrotem na wejście. Długość sekwencji sygnału MLS jest zależna od liczby stopni rejestru przesuwającego. Jeśli rejestr ma N stopni, to długość sekwencji MLS ma: $L = 2N - 1$ próbek. Kiedy ta liczba próbek zostanie osiągnięta, sekwencja zaczyna się powtarzać. Pomimo podobieństwa do szumu sygnał MLS jest jednak z góry określony, zanim zostanie podany do obwodu pomiarowego, i jest także powtarzalny, w przeciwieństwie do zwykłego szumu. Poprzez odpowiednie obliczenia matematyczne (funkcja korelacji), wykorzystujące jako dane wejściowe pierwotny sygnał MLS oraz odpowiedź mierzonego systemu na tenże sygnał, można uzyskać odpowiedź impulsową mierzonego systemu, a w konsekwencji także odpowiedź częstotliwościową. Proces ten ilustruje rysunek 3.

Transformację Hadamarda można przeprowadzić za pomocą funkcji Szybka Transformata Hadamarda (FHT).

2.2 Metoda SS (Sweet Sine)

Stosowanie sygnału sinusoidalnego jako sygnału pobudzenia w porównaniu z metodą MLS ma wiele zalet, w szczególności zmniejsza wrażliwość na zmienność w czasie (temperatura i przepływ powietrza) oraz eliminuje problem zniekształceń harmonicznym. Ponieważ wszystkie zniekształcenia harmoniczne są eliminowane, moc pobudzenia sygnałem sinusoidalnym może być znacznie większa niż moc sygnału MLS.

Pomiary zaniku dźwięku tą metodą są mniej narażone na szkodliwy wpływ zmienności w czasie. Mniejsza wrażliwość metody na zmienność w czasie powoduje, że niekiedy jest ona jedyną realną opcją przy pomiarze odpowiedzi impulsowej. „Przemiatanie” może być dokonywane jednokrotnie, od niższych do wyższych częstotliwości, lub jako powtarzające się w sposób okresowy. Zaprezentowana poniżej analiza oparta jest na jednokrotnym „przemiataniu”.

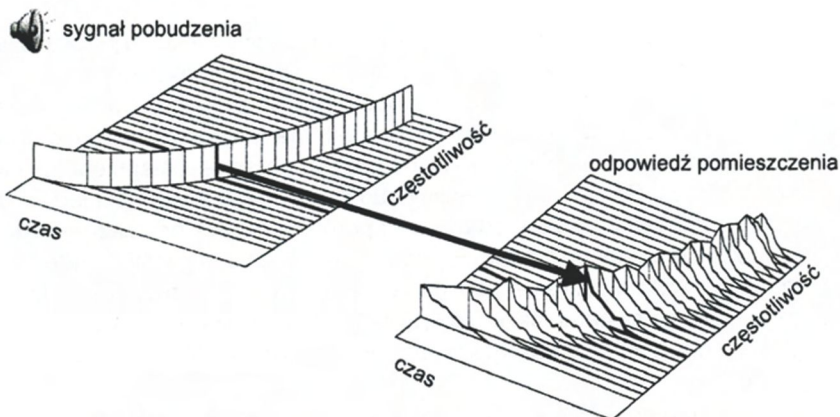
Jeżeli istnieje taka potrzeba, to pełny zakres częstotliwości może być podzielony na bloki.

W przeciwieństwie do pomiarów z pobudzeniem sygnałem okresowym nie ma szczególnych wymagań dotyczących czasu „przemiatania” w stosunku do oczekiwanego czasu pogłosu. Należy jedynie pamiętać, aby czas rejestracji odpowiedzi na wymuszenie był dłuższy niż czas zaniku do poziomu tła.

Zwiększenie długości „przemiatania” zwiększa energię akustyczną w pomieszczeniu, które ma być mierzone, a tym samym zwiększa stosunek sygnału do szumu.

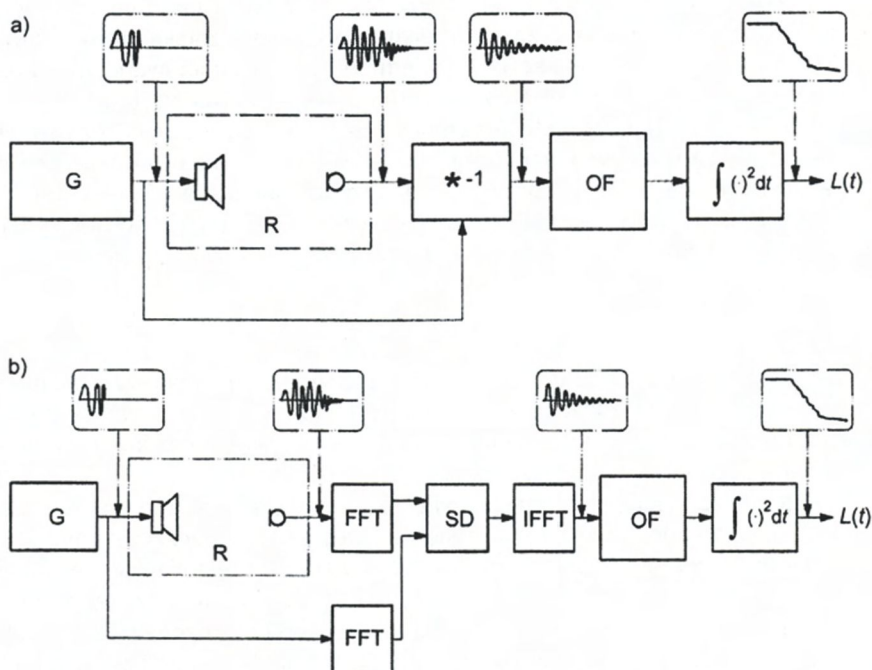
Mimo że możliwe są zmienne amplitudy dla każdej z częstotliwości, w większości przypadków korzystne jest utrzymanie stałej amplitudy, natomiast zmienna pozostaje prędkość „przemiatania”. „Przemiatanie” rozpoczyna się poniżej najniższej częstotliwości granicznej najniższego pasma i trwa co najmniej do najwyższej częstotliwości granicznej górnego pasma.

Liniowe „przemiatanie” o stałej amplitudzie odpowiada energii równej dla każdej częstotliwości i odpowiada widmowo szumowi białemu. Jeśli natomiast częstotliwość wzrasta wykładniczo wraz z upływem czasu, czas „przemiatania” każdej oktawy jest stały. Energia każdego pasma oktawowego ($1/n$ -oktawowego) będzie więc stała i odpowiadająca widmowo szumowi różowemu.



Rys. 4. Proces przetwarzania sygnału w celu otrzymania odpowiedzi częstotliwościowej metodą Sweep Sine

Fig. 4. Time-frequency diagram for exponential sweep in Sweep Sine method



Rys. 5. Schemat blokowy metody Sweep Sine: a) bezpośrednia dekonwolucja sygnału, b) podział widma wzbudzenia i odpowiedzi: G – generator sweep, *-1 – dekonwolucja, OF – filtry pasmowe, FFT Szybka Transformata Fouriera, SD – podział widma IFFT Odwrócona Szybka Transformata Fouriera
 Fig. 5. Scheme for Sweep Sine process a) direct deconvolution, b) Spectral division: G – sweep generator, *-1 deconvolution, OF – fractional-octave filter, FFT Fast Fourier Transformation, SD – spectral division IFFT Inverse Fast Fourier Transformation

Na rysunku 4 zilustrowano proces przetwarzania sygnału w celu otrzymania odpowiedzi częstotliwościowej metodą Swept Sine.

Złożoną funkcję odpowiedzi częstotliwościowej można uzyskać poprzez bezpośrednią dekonwolucję lub podział widma odpowiedzi i widma wzbudzenia. Schemat blokowy obu procesów przedstawiony został na rysunku 5.

3. Warunki wykonywania pomiarów

Odpowiedź impulsowa jest mierzona jako odpowiedź pomieszczenia na bardzo krótkie impulsy akustyczne. W przypadku innych źródeł niż głośnik trudno mieć wystarczającą kontrolę nad wzbudzeniem.

Aby uzyskać wymaganą kontrolę sygnału pobudzenia, odpowiedź impulsowa jest w praktyce uzyskiwana przez cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Pomieszczenie jest wzbudzone znanym sygnałem przez pewien czas i wyznaczana jest odpowiedź impulsowa na to pobudzenie. W celu zwiększenia całkowitej energii promieniowania sygnał pobudzenia jest rozłożony w dłuższym odcinku czasu. Procedura ta umożliwia zwiększenie osiąganego zakresu dynamiki oraz zmniejszenie wpływu zewnętrznych zakłóceń.

W przypadku pomiarów odpowiedzi impulsowej niedopuszczalny jest ruch zarówno źródła, jak i mikrofonu (liniowy system stacjonarny). Odpowiedź impulsową pomieszczenia tworzą interakcje fal dźwiękowych odbitych od podłogi, sufitu i ścian pomieszczenia. Ponadto na odpowiedź impulsową mają wpływ ruchy powietrza w pomieszczeniu, a także zmiana prędkości dźwięku (temperatura).

W przypadku powtarzających się sygnałów pobudzenie składa się z wąskich linii widmowych, gdzie odległość między sąsiednimi liniami Δf równa jest odwrotności czasu na jedno powtórzenie.

W celu zapewnienia właściwego pobudzenia pomieszczenia czas powtórzenia nie może być krótszy niż czas pogłosu T pomieszczenia mierzonego. Wymaganie to odnosi się zarówno do pomiaru czasu pogłosu, jak i do różnicy poziomu ciśnienia akustycznego (rys. 6).

Rys. 6. Wpływ tła akustycznego na odpowiedź impulsową: L – poziom ciśnienia akustycznego,

t_r – stosunek czasu do czasu pogłosu,

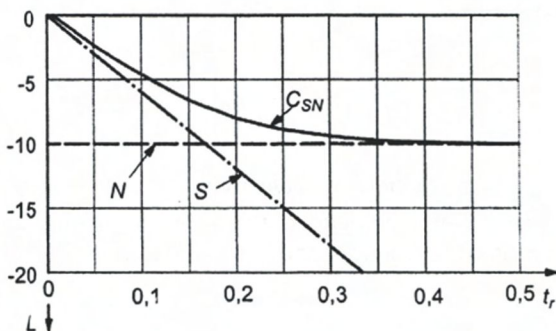
S – odpowiedź impulsowa, N – tła akustyczne,

CSN – połączenie odpowiedzi impulsowej i tła akustycznego

Fig. 6. Sketch of the influence of the background noise on impulse response: L – sound level,

t_r – time relative to reverberation time,

S – signal from impulse response, N – signal from background noise, CSN – signal from combined impulse response and noise



W przypadku pojedynczych sygnałów pobudzenie może być dowolnej długości. W celu rejestracji zaniku odpowiedzi po wzbudzeniu następować musi okres ciszy, równy co najmniej połowie czasu pogłosu. Istnieje też możliwość pobudzania sygnałem przemianą od niskich do wysokich częstotliwości.

Moc akustyczna urządzeń stosowanych w torze wzbudzenia przy metodach klasycznych jest wystarczająca do użycia ich w nowych metodach. Nowe metody powodują zwiększenie stosunku sygnału do szumu nawet o 30 dB. Korzystanie z głośników zazwyczaj wprowadza zniekształcenia nieliniowe w układzie. Zniekształcenia spowodowane przez głośnik wzrastają wraz z poziomem pobudzenia i są szczególnie istotne w przypadku metody MLS. Natomiast zastosowanie metody Swept Sine umożliwia eliminację artefaktów spowodowanych składowymi harmonicznymi.

Kierunkowość źródeł stosowanych w nowych metodach powinna odpowiadać wymaganiom podanym w stosownych metodach klasycznych.

Miejsce i liczba ustawień źródła powinna odpowiadać wymaganiom podanym w odpowiednich metodach klasycznych.

Przetworniki pomiarowe powinny odpowiadać wymaganiom podanym w stosownych metodach klasycznych.

Obie metody opisują pomiary szerokopasmowej odpowiedzi impulsowej, która jest następnie przetwarzana w celu uzyskania **charakterystyki częstotliwościowej**.

Urządzenia spełniające wymagania IEC 61672-1 [11] mają wystarczającą rozdzielczość i **zakres dynamiki** do spełnienia wymagań **liniowości**.

Urządzenia pomiarowe stosowane w nowych metodach nie mogą być w pełni przetestowane w konwencjonalny sposób. Sygnał z mikrofonu jest próbkowany cyfrowo, a wynik uzyskuje się przez cyfrowe przetwarzanie próbkowanego sygnału. Tradycyjnymi metodami można sprawdzić tylko prawidłowe funkcjonowanie mikrofonu i przetwornika cyfrowego, ale nie całego procesu obliczeniowego.

Równanie (2) określa nieskończenie długi czas całkowania. Długość zarejestrowanej odpowiedzi impulsowej daje górną **granice całkowania**.

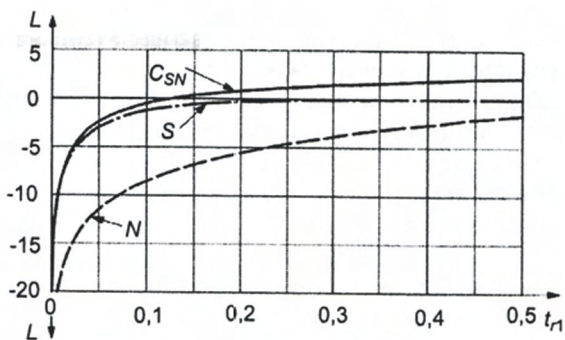
Mierzonej odpowiedzi impulsowej zawsze towarzyszą niepożądane zakłócenia z zewnętrznych źródeł. Skutki odstępstwa od zasady niezmienności w czasie powodują dodatkowe zakłócenia. Jeżeli całkowanie odbywa się pomiędzy 0 a t_1 , poziom ciśnienia akustycznego określa się z zależności

$$L = 10 \log \left\{ \frac{1}{C_{ref}} \left[W_0 \int_0^{t_1} h^2(t) dt + \int_0^{t_1} \varepsilon^2(t) dt \right] \right\} \quad (8)$$

gdzie $\varepsilon(t)$ jest tłem akustycznym.

Zbyt niska wartość górnej granicy całkowania daje niskie wartości. Rysunek 7 przedstawia wpływ czasu całkowania t_1 na obliczony poziom.

Rys. 7. Wpływ czasu całkowania na wyznaczony poziom ciśnienia akustycznego: L – poziom ciśnienia akustycznego, t_{r1} – stosunek czasu całkowania do czasu pogłosu, S – odpowiedź impulsowa, N – tła akustyczne; C_{SN} – połączenie odpowiedzi impulsowej i tła akustycznego Fig. 7. Sketch of the calculated levels as a function of the upper integration limit: L – sound level, t_{r1} – time relative to reverberation time, S – signal from impulse response, N – signal from background noise, C_{SN} – signal from combined impulse response and noise



Czas całkowania powinien obejmować co najmniej 1/3 szacunkowej wartości czasu pogłosu dla każdego pasma, tzn. przynajmniej -20 dB na krzywej odpowiedzi impulsowej. Optymalna wartość czasu całkowania zależy od stosunku sygnału do szumu.

Nowe metody mogą być stosowane wówczas, gdy stosunek sygnału do szumu jest zbyt niski, aby wykonać prawidłowy pomiar poziomu klasycznymi metodami.

Poziomy otrzymane za pomocą nowych metod zawierają już poprawki dotyczące tła akustycznego i w związku z tym nie powinny być dalej korygowane, mimo że poprawki takie są zalecane w opisie metody klasycznej.

Liczba punktów pomiarowych (kombinacje źródło/pozycji mikrofonów) powinna być doбирана zgodnie z wymaganiami określonymi w metodach klasycznych.

Wszystkie części łańcucha sygnału od pobudzenia do odbieranego sygnału muszą być niezmiennie w czasie. Jest to szczególnie ważne w przypadku metody MLS. Natomiast metoda Swept Sine jest bardziej odporna na takie zmiany. Podzespoły elektroniczne wykorzystywane w analogowym i cyfrowym przetwarzaniu sygnałów są wystarczająco stabilne na potrzeby nowych metod. Jeżeli podawany jest sygnał o znacznej sile, zmienność głośnika związana z nagrzewaniem się może mieć wpływ na wyniki pomiarów.

Również źródło i mikrofon pomiarowy nie mogą się przemieszczać w trakcie pomiaru. Wyjątkiem jest pomiar częstości losowych rozpraszania zgodnie z normą ISO 17497-1 [12].

Metody pomiaru w oparciu o odpowiedź impulsową są także bardzo wrażliwe na ruchy osób i przedmiotów w pomieszczeniu pomiarowym.

Nowe metody pomiarowe mogą być stosowane w analogicznych warunkach środowiskowych jak metody klasyczne. Jednakże ze względu na zwiększoną wrażliwość na zmiany warunków środowiskowych podczas pomiaru, w celu utrzymania stabilnych warunków należy zachować dużą ostrożność.

Transmisja dźwięku w powietrzu wykazuje dużą wrażliwość na zmiany warunków środowiskowych, a w szczególności na zmiany temperatury i prędkości wiatru.

Funkcję odpowiedzi częstotliwościowej można uzyskać poprzez transformację odpowiedzi impulsowej Fouriera. Może być ona również mierzona jako odpowiedź na pobudzenie sinusoidalne w wymaganym zakresie częstotliwości.

Częstotliwości mogą być zmieniane w sposób ciągły – od częstotliwości poniżej dolnej częstotliwości granicznej najniższego pasma do częstotliwości powyżej górnej częstotliwości granicznej pasma najwyższego. Przemiatanie częstotliwości, gdy wzrasta ona wykładniczo w funkcji czasu, jest zbliżone do szumu różowego w metodzie klasycznej.

Zastosowanie wąskiego pasma kanału pomiarowego umożliwia usunięcie składowych harmonicznych powstałych wskutek nieliniowości układu wzbudzenia i układu pomiarowego. Przepustowość filtrów musi być jednak wystarczająco szeroka, aby zapobiec zmianom z powodu pogłosu.

Uzyskany za pomocą nowych metod pojedynczy wynik pomiaru odpowiada wartości oczekiwanej uzyskanej przez uśrednienie wyników pochodzących z obliczeń metodą klasyczną. Nie występują zatem tak znaczące rozrzuty wyników i w związku z tym nie zachodzi potrzeba wykonywania kilku powtórzeń, jak ma to miejsce w przypadku pomiarów metodami klasycznymi. Ponadto metoda ta zazwyczaj zwiększa efektywność sygnału do szumu.

Rozrzuty wartości spowodowane zmianą punktu pomiarowego są analogiczne jak w metodzie klasycznej i wartości niepewności pomiaru mogą być wyznaczane dla tej metody analogicznie, jak dla pomiarów klasycznych.

Z uwagi na fakt, że warunki środowiskowe mogą być kontrolowane, nowe metody uznawane są za tak samo, albo nawet bardziej dokładne jak metody klasyczne.

4. Porównanie wyników badań z zastosowaniem nowych metod pomiarowych z wynikami uzyskiwanymi metodami klasycznymi

4.1. Czas pogłosu w punkcie stacjonarnym

W celu zobrazowania rozrzutów wyników pomiaru czasu pogłosu w punkcie stacjonarnym otrzymanych nowymi metodami (MLS, Swept Sine) i porównania ich z rozrzutami wyników uzyskanych „metodą klasyczną”, w tablicy 1 zestawiono wyniki pomiarów czasu pogłosu pustej komory pogłosowej do pomiaru współczynnika pochłaniania. Wyniki te są wykorzystywane do obliczeń współczynnika pochłaniania jako wynik odniesienia i mają bezpośredni wpływ na jego wartość. W tablicy 1 zestawiono wartości czasu pogłosu dla jednego punktu pomiarowego (dwukrotny pomiar dla punktu) oraz rozrzut (wyrażony w procentach) pomiędzy dwoma wynikami odniesionymi do wartości średniej.

Wyniki pomiaru czasu pogłosu nowymi metodami (MLS, Swept Sine) są niemal identyczne (tablica 1). Rozrzuty – wyrażone w procentach – pomiędzy dwoma wynikami odniesionymi do wartości średniej, w jednostkowych przypadkach nieznacznie przekraczają 1%, podczas gdy identycznie wyrażana wartość rozrzutu w metodzie klasycznej nierazko przekracza 20%, a w jednostkowych przypadkach sięga aż 50%. Świadczy to o bardziej dużej powtarzalności wyników pomiaru czasu pogłosu uzyskiwanych nowymi metodami, nieosiągalnej w metodzie klasycznej. Z tego powodu nie ma potrzeby wykonywania – tak jak to ma miejsce w przypadku metody klasycznej – wielokrotnych powtórzeń dla każdego punktu pomiarowego w celu otrzymania wartości średniej.

Tablica 1. Rozrzut wyników pomiarów czasu pogłosu „pustej” komory pogłosowej do badania współczynnika pochłaniania dźwięku w zależności od zastosowanej metody

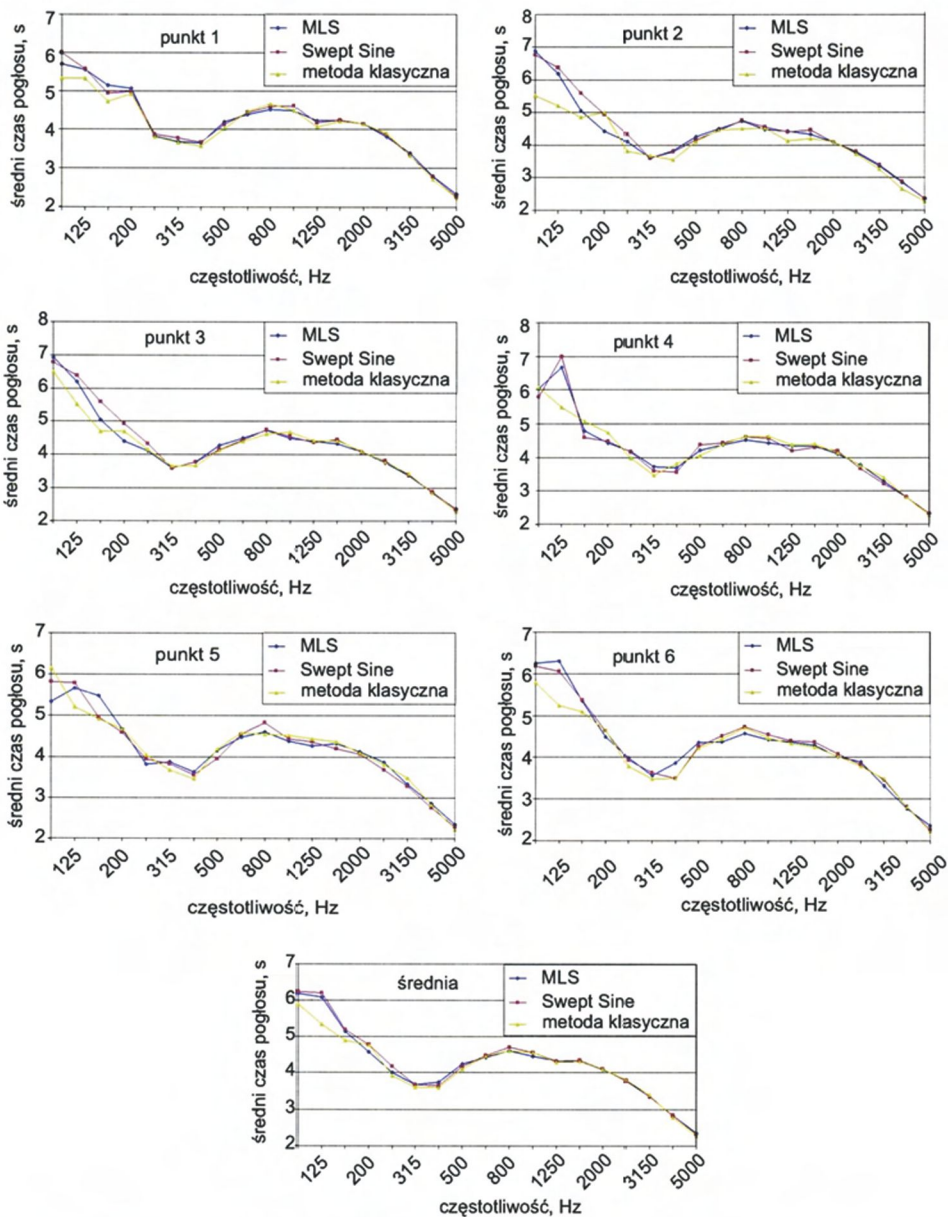
Table 1. Spread of results of reverberation time in an „empty” reverberation room for measuring sound absorption coefficient according to the method used

f Hz	MLS			Swept Sine			Metoda klasyczna		
	T ₁ s	T ₂ s	$ T_1 - T_2 / (T_1 + T_2) / 2$ %	T ₁ s	T ₂ s	$ T_1 - T_2 / (T_1 + T_2) / 2$ %	T ₁ s	T ₂ s	$ T_1 - T_2 / (T_1 + T_2) / 2$ %
100	6,85	6,90	0,73	6,79	6,73	0,89	5,23	6,07	14,87
125	6,20	6,18	0,32	6,38	6,37	0,16	4,78	5,60	15,80
160	5,05	5,03	0,40	5,59	5,59	0,00	4,61	4,82	4,45
200	4,41	4,41	0,00	4,94	4,94	0,00	4,92	5,08	3,20
250	4,12	4,10	0,49	4,33	4,33	0,00	3,73	3,68	1,35
315	3,59	3,61	0,56	3,60	3,60	0,00	3,40	3,73	9,26
400	3,85	3,81	1,04	3,78	3,78	0,00	3,16	3,62	13,57
500	4,25	4,25	0,00	4,15	4,15	0,00	4,41	3,94	11,26
630	4,49	4,49	0,00	4,44	4,44	0,00	4,40	4,42	0,45
800	4,74	4,74	0,00	4,75	4,74	0,21	4,49	4,11	8,84
1000	4,48	4,48	0,00	4,55	4,55	0,00	4,57	4,54	0,66
1250	4,41	4,41	0,00	4,39	4,39	0,00	4,35	4,03	7,64
1600	4,32	4,34	0,46	4,45	4,45	0,00	4,29	4,20	2,12
2000	4,07	4,08	0,25	4,08	4,08	0,00	4,07	4,11	0,98
2500	3,76	3,76	0,00	3,81	3,81	0,00	3,85	3,68	4,52
3150	3,36	3,37	0,30	3,39	3,39	0,00	3,30	3,35	1,50
4000	2,86	2,86	0,00	2,88	2,88	0,00	2,73	2,75	0,73
5000	2,36	2,37	0,42	2,35	2,35	0,00	2,27	2,27	0,00

Z zaprezentowanych rezultatów wynika, że w przypadku pomiarów czasu pogłosu nowymi metodami reprezentatywny jest pomiar pojedynczy.

Różnice w wynikach pomiędzy poszczególnymi punktami pomiarowymi wynikają z rozkładu pola akustycznego w komorze i są porównywalne w przypadku wszystkich trzech metod.

Na rysunku 8 zestawiono wyniki pomiaru trzema metodami (MLS, Swept Sine i metodą klasyczną) przeprowadzonego w sześciu punktach pomiarowych.



Rys. 8. Zestawienie wyników pomiarów trzema metodami (MLS, Swept Sine i metodą klasyczną) dla każdego punktu pomiarowego

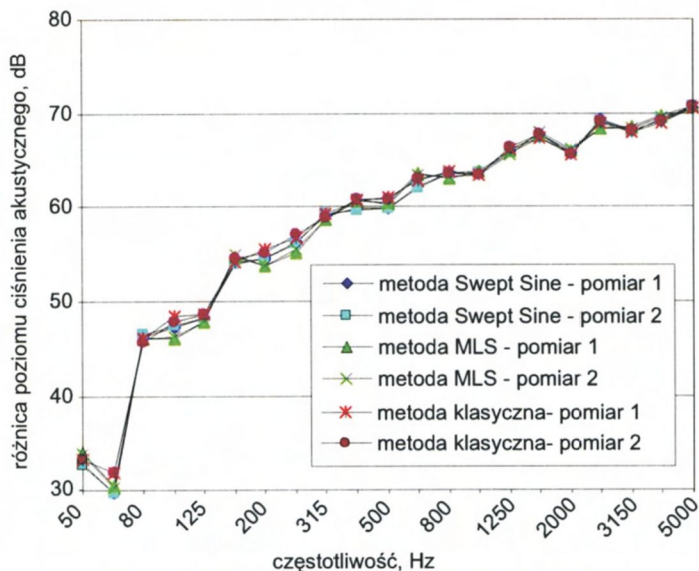
Fig. 8. Comparison of results of measurements carried out with the use of three methods (MLS, Swept Sine and classical method) for each position

Wartości czasu pogłosu w punkcie stacjonarym są w zasadzie zbliżone do siebie niezależnie od zastosowanej metody pomiaru. W zakresie częstotliwości powyżej 200 Hz wyniki można uznać za niemal identyczne, natomiast w zakresie poniżej 200 Hz wyniki otrzymywane nowymi metodami są do siebie bardzo zbliżone, jednakże nieznacznie odbiegają (są wyższe) od wyników uzyskanych metodą klasyczną.

Należy jednakże zauważyć, że w przypadku metody klasycznej rozrzut wyników przy pomiarze czasu pogłosu na niskich częstotliwościach jest znaczny – sięgają one nierzadko powyżej 30% i mogą stanowić o przyczynie rozbieżności pomiędzy klasycznymi wynikami a wynikami uzyskanymi przy zastosowaniu nowych metod pomiarowych.

4.2. Różnica poziomów ciśnienia akustycznego

W celu zobrazowania rozrzutów wyników pomiaru różnicy poziomów ciśnienia akustycznego otrzymanych nowymi metodami (MLS, Swept Sine) i porównania ich z rozrzutem wyników uzyskanych „metodą klasyczną” w tabelicy 2 zestawiono wyniki różnicy ciśnienia akustycznego wyznaczonej podczas przeprowadzania pomiarów izolacyjności akustycznej przegród. Ocenie poddana została tylko różnica poziomu ciśnienia akustycznego (bez poprawki na chłonność akustyczną, wyznaczaną na podstawie czasu pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym). Na rysunku 9 zaprezentowano zestawienie wyników pomiarów różnicy poziomu ciśnienia akustycznego trzema metodami (MLS, Swept Sine i metodą klasyczną).



Rys. 9. Zestawienie wyników pomiarów różnicy poziomu ciśnienia akustycznego trzema metodami (MLS, Swept Sine i metodą klasyczną)

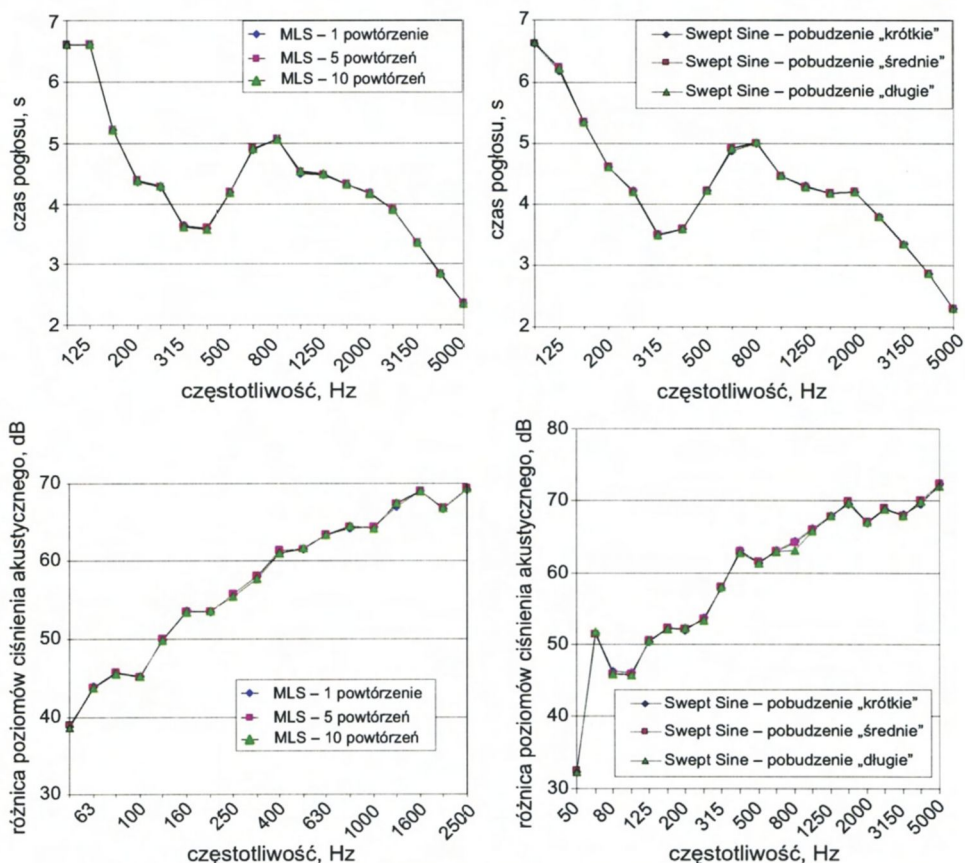
Fig. 9. Comparison of results of sound pressure level measurements carried out with the use of three methods (MLS, Swept Sine and classical method)

Tablica 2. Rozrzut wyników pomiarów różnicy poziomów ciśnienia akustycznego
Table 2. Spread of results of sound pressure level measurements

f Hz	Swept Sine							MLS							Metoda klasyczna						
	Punkt 1			Punkt 2			$ L_{12} - L_{21} - L_{11} - L_{22} $	Punkt 1			Punkt 2			$ L_{11} - L_{21} - L_{12} - L_{22} $	Punkt 1			Punkt 2			$ L_{11} - L_{21} - L_{12} - L_{22} $
	L_{11}	L_{21}	$ L_{12} - L_{21} $	L_{12}	L_{22}	$ L_{12} - L_{22} $		L_{11}	L_{21}	$ L_{11} - L_{21} $	L_{12}	L_{22}	$ L_{12} - L_{22} $		L_{11}	L_{21}	$ L_{11} - L_{21} $	L_{12}	L_{22}	$ L_{12} - L_{22} $	
50	98,7	66,0	32,7	98,7	66,1	32,6	0,1	82,0	48,1	33,9	81,5	47,8	33,7	0,2	97,7	58,0	39,7	97,3	57,6	39,7	0,0
63	96,4	66,8	29,6	96,7	67,0	29,7	0,1	81,9	51,5	30,4	82,0	51,7	30,3	0,1	101,6	58,9	42,7	101,2	58,4	42,8	0,1
80	114,2	68,0	46,2	114,3	67,8	46,5	0,3	98,6	52,5	46,1	98,7	52,7	46,0	0,1	101,8	58,9	42,9	101,4	58,1	43,3	0,4
100	115,3	68,0	47,3	115,4	67,9	47,5	0,2	101,1	55,1	46,0	101,7	55,5	46,2	0,2	110,8	61,0	49,8	111,1	61,2	49,9	0,1
125	111,2	63,0	48,2	111,4	63,2	48,2	0,0	97,6	49,8	47,8	97,7	49,9	47,8	0,0	105,3	54,4	50,9	105,6	54,4	51,2	0,3
160	111,4	57,3	54,1	111,6	57,6	54,0	0,1	98,6	41,8	56,8	98,7	41,7	57,0	0,2	105,3	49,3	56,0	105,0	49,2	55,8	0,2
200	110,6	56,1	54,5	110,8	56,3	54,5	0,0	99,0	45,2	53,8	98,9	45,1	53,8	0,0	103,7	48,0	55,7	103,1	47,9	55,2	0,5
250	109,0	52,7	56,3	108,9	52,8	56,1	0,2	98,2	43,0	55,2	98,4	42,9	55,5	0,3	102,1	45,3	56,8	101,7	45,0	56,7	0,1
315	109,8	50,7	59,1	110,1	50,9	59,2	0,1	100,3	41,7	58,6	100,3	41,7	58,6	0,0	100,8	44,3	56,5	100,3	42,7	57,6	1,1
400	109,0	49,2	59,8	109,2	49,5	59,7	0,1	100,2	39,6	60,6	100,4	39,6	60,8	0,2	101,7	40,8	60,9	101,2	40,5	60,7	0,2
500	105,9	46,0	59,9	106,1	46,2	59,9	0,0	98,4	38,0	60,4	98,5	38,3	60,2	0,2	99,5	37,5	62,0	99,5	37,6	61,9	0,1
630	107,4	45,2	62,2	107,6	45,5	62,1	0,1	100,8	37,2	63,6	100,8	37,4	63,4	0,2	101,1	37,1	64,0	100,9	37,0	63,9	0,1
800	106,0	42,4	63,6	106,1	42,5	63,6	0,0	100,0	37,0	63,0	99,9	36,6	63,3	0,3	97,7	34,8	62,9	97,3	34,1	63,2	0,3
1000	104,7	40,9	63,8	104,8	41,1	63,7	0,1	99,9	36,1	63,8	99,6	36,1	63,5	0,3	97,3	33,5	63,8	97,2	33,0	64,2	0,4
1250	106,2	40,3	65,9	106,4	40,7	65,7	0,2	102,4	36,5	65,9	102,4	36,8	65,6	0,3	99,4	33,5	65,9	98,8	32,6	66,2	0,3
1600	104,3	36,6	67,7	104,4	37,0	67,4	0,3	101,7	34,0	67,7	101,9	34,0	67,9	0,2	98,0	30,4	67,6	97,5	29,5	68,0	0,4
2000	106,9	41,1	65,8	107,1	41,4	65,7	0,1	104,9	38,9	66,0	104,6	38,4	66,2	0,2	98,6	33,0	65,6	98,9	33,5	65,4	0,2
2500	101,3	31,9	69,4	101,7	32,5	69,2	0,2	99,7	31,3	68,4	99,4	31,1	68,3	0,1	94,2	25,0	69,2	93,5	24,7	68,8	0,4
3150	99,0	30,8	68,2	99,2	31,2	68,0	0,2	97,0	28,4	68,6	97,0	28,6	68,4	0,2	91,5	23,5	68,0	91,6	23,7	67,9	0,1
4000	99,7	30,5	69,2	99,8	30,5	69,3	0,1	97,3	27,6	69,7	97,2	27,6	69,6	0,1	92,1	23,1	69,0	92,2	22,9	69,3	0,3
5000	100,6	30,0	70,6	100,6	29,8	70,8	0,2	99,1	28,3	70,8	98,6	28,1	70,5	0,3	92,4	23,4	69,0	93,4	24,0	69,4	0,4

Należy zauważyć, że wyniki pomiaru różnicy poziomu ciśnienia akustycznego wszystkimi metodami są porównywalne. Porównywalne są także wartości rozrzutów tych wyników dla każdego pomiaru z tej samej metody pomiarowej. Rozrzuty, wyrażone w dB, pomiędzy dwoma wynikami w przypadku każdej metody pomiarowej nie są większe od 0,5 dB. Z tego powodu nie ma potrzeby wykonywania wielokrotnych powtórzeń dla każdego punktu pomiarowego w celu otrzymania wartości średniej, natomiast należy dokonać większej liczby uśrednień w różnych punktach pomieszczenia badawczego (nadawczego i odbiorczego). Należy jednocześnie pamiętać, że w przypadku stosowania nowych metod pomiarowych nie ma możliwości uśredniania w czasie i przestrzeni za pomocą metody ruchomego mikrofonu. Metoda ta może być stosowana tylko w metodzie klasycznej.

4.3. Wpływ długości pobudzenia na czas pogłosu



Rys. 10. Zestawienie wyników pomiaru czasu pogłosu i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego, w punkcie stacjonarnym, wykonanych metodami MLS i Swept Sine dla różnych długości pobudzenia
 Fig. 10. Comparison of results of reverberation time and sound pressure level measurements in a stationary position carried out with the use of MLS and Swept Sine methods for various reverberation lengths

W celu oceny wpływu długości pobudzenia zaprezentowano wyniki pomiarów:

- czasu pogłosu i różnicy poziomów ciśnienia akustycznego metodą MLS dla 1, 5 i 10 powtórzeń sygnału pobudzenia,
- czasu pogłosu i różnicy poziomów ciśnienia akustycznego metodą Swept Sine dla czasu pobudzenia „krótkiego”, „średniego” i „długiego”.

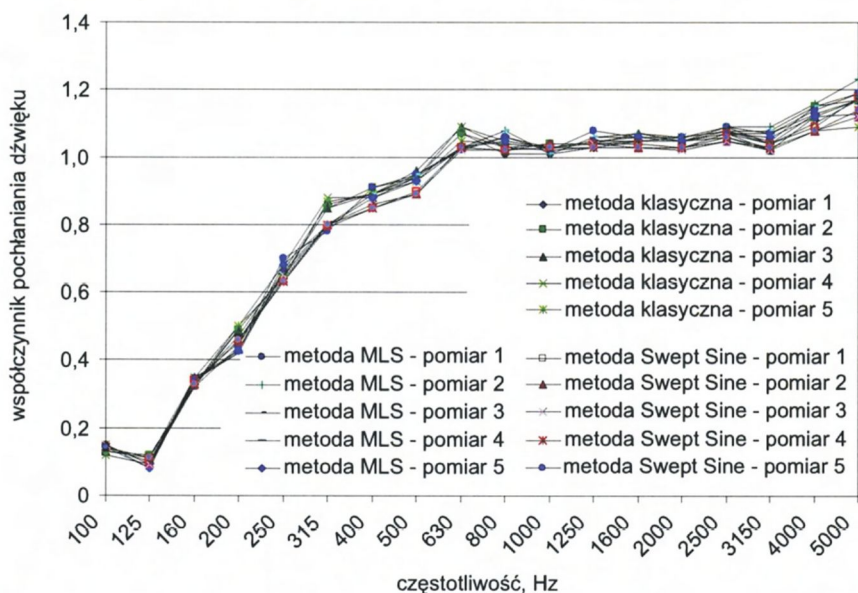
Na rysunku 10 zestawiono wyniki pomiarów czasu pogłosu i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie stacjonarnym, wykonanych metodami MLS i Swept Sine dla różnych długości pobudzenia.

Z przedstawionych rezultatów wynika, że niezależnie od zastosowanej długości pobudzenia w obu nowych metodach w punkcie stacjonarnym otrzymywane są te same wartości czasu pogłosu i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego.

Mając na uwadze powyższe prawidłowości, należy stosować dłuższe czasy uśrednienia tylko w przypadku niewystarczającego odstępu pomiędzy sygnałem a szumem.

4.4. Współczynnik pochłaniania dźwięku

Na rysunku 11 zaprezentowano powtarzalności pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku niezależnie od zastosowanej metody. Zestawienie wykonano na podstawie pomiarów współczynnika pochłaniania dźwięku wełny szklanej. Ocenie poddane zostały wyniki współczynnika pochłaniania dźwięku wyznaczone na podstawie pomiarów czasu pogłosu (zarówno pustej komory, jak i komory z próbką) trzema różnymi metodami (MLS, Swept Sine, klasyczną) – po pięć badań każdą metodą.



Rys. 11. Zestawienie wyników pomiaru współczynnika pochłaniania dźwięku wełny wzorcowej trzema metodami: MLS, Swept Sine i metodą klasyczną – po pięć pomiarów każdą metodą

Fig. 11. Comparison of measurement results of reverberation time for standardized wool achieved by the use of three methods: MLS, Swept Sine and classical method – five measurements per each method

Niezależnie od zastosowanej metody określenia współczynnika pochłaniania dźwięku, wyniki są porównywalne. Wartości powtarzalności pomiaru zawierają się zazwyczaj w przedziale poniżej 0,05, z nielicznymi przekroczeniami mieszczącymi się w przedziale do 0,1. Niemal identyczna wydaje się wartość odtwarzalności pomiaru wykonanego trzema różnymi metodami. W rozpatrywanym przypadku wartość ta zawiera się w przedziale do 0,11.

Mając na uwadze powyższe prawidłowości, a także złożoność badania współczynnika pochłaniania dźwięku, można stwierdzić, że wyniki otrzymywane poprzez zastosowanie obu nowych metod są tożsame z wynikami uzyskiwanymi metodą klasyczną.

4.5. Izolacyjność akustyczna

W celu oceny powtarzalności i odtwarzalności pomiaru izolacyjności akustycznej niezależnie od zastosowanej metody wykonano pomiary wzorcowej różnicy poziomu D_{nT} ściany podwójnej murowanej z cegły silikatowej grubości 25 cm + 5 cm wełny mineralnej + ściana z cegły silikatowej gr. 18 mm. Pomiarów dokonano w otworze badawczym pomiędzy komorami 10 a 11 i z uwagi na wymiar otworu badawczego (mniejszy od 10 m²) wyniki przedstawiono jako wartości wzorcowej różnicy poziomów.

Ocenie poddane zostały wyniki wzorcowej różnicy poziomów wyznaczone na podstawie pomiarów czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego czterema metodami:

- metodą MLS – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego i czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych,
- metodą Swept Sine – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego i czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych,
- metodą klasyczną – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych,
- metodą klasyczną – pomiar czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych; przy pomiarze różnicy poziomów 5 powtórzeń uśrednionego poziomu z ruchomych (obracających się) mikrofonów.

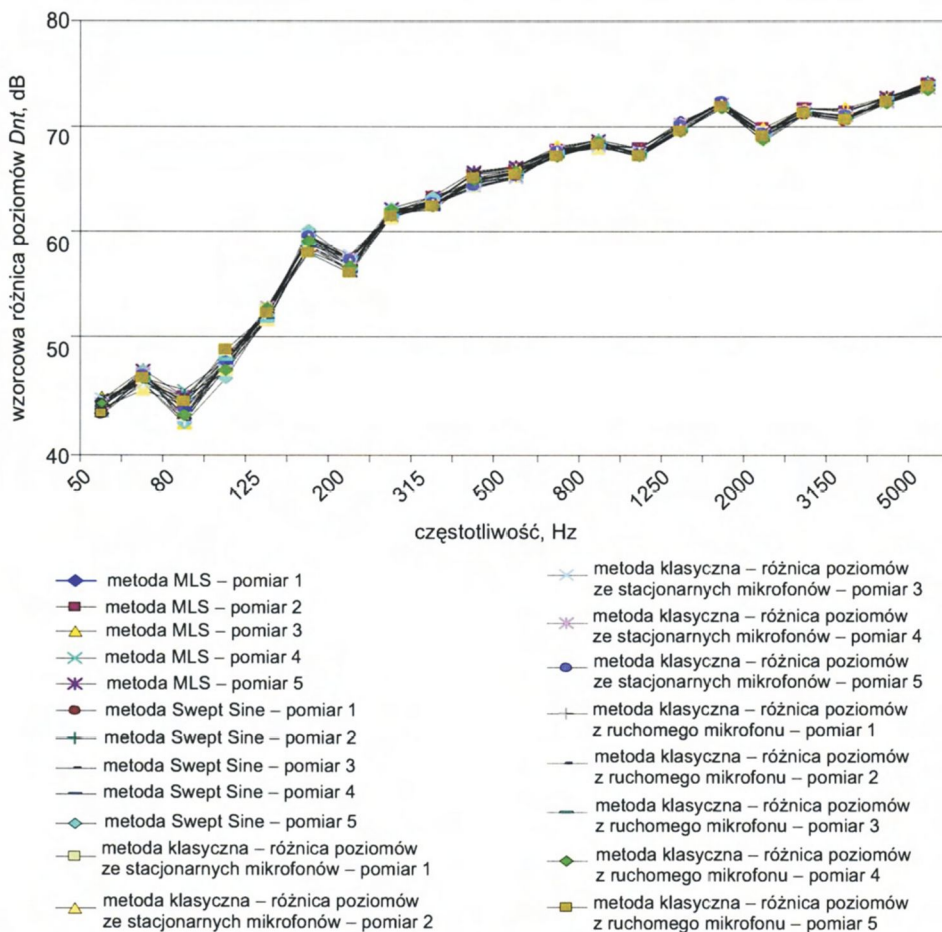
W tablicy 3 zestawiono wyniki pomiarów wzorcowej różnicy poziomów oraz wartości powtarzalności pomiaru r dla każdej metody pomiarowej, a także wartość odtwarzalności dla czterech metod. Zestawienie wyników izolacyjności akustycznej właściwej w formie graficznej zaprezentowano na rysunku 12.

Wartości odtwarzalności i powtarzalności uzyskanych wyników porównano z wartościami dopuszczalnymi powtarzalności i odtwarzalności, przyjętymi na podstawie wymagań określonych w PN-EN 20140-2:2001 [10].

Niezależnie od zastosowanej metody określenia wzorcowej różnicy poziomów, wyniki są porównywalne. Wartości powtarzalności pomiaru zawierają się w granicach dopuszczalnych, a w większości przypadków nie przekraczają nawet połowy wartości dopuszczalnych. Niemal identyczna jest wartość odtwarzalności pomiaru wykonanego czterema różnymi metodami – można ją porównać z wartościami powtarzalności, mimo iż dopuszczalna wartość odtwarzalności jest około dwukrotnie wyższa od wartości powta-

rzalności. Wartości powtarzalności i odtwarzalności są identyczne dla wszystkich wyznaczanych parametrów (izolacyjności akustycznej właściwej, wzorcowej różnicy poziomów oraz elementarnej różnicy poziomów).

Mając na uwadze opisane prawidłowości, a także złożoność badania izolacyjności akustycznej, można stwierdzić, że wyniki otrzymywane poprzez zastosowanie obu nowych metod są tożsame z wynikami uzyskiwanymi metodami klasycznymi, niezależnie od tego, czy stosuje się metodę stacjonarnego, czy ruchomego mikrofonu.



Rys. 12. Zestawienie wyników pomiaru wzorcowej różnicy poziomów ściany podwójnej murowanej z cegły silikatowej grubości 25 cm + 5 cm wełny mineralnej + ściana z cegły silikatowej gr. 18 mm – czterema metodami (MLS, Swept Sine, metodą klasyczną – pomiar różnicy poziomów ze stacjonarnych mikrofonów i metodą klasyczną – pomiar różnicy poziomów z ruchomych mikrofonów) Fig. 12. Comparison of measurement results of standardized level difference of double silicate brick wall, 25 cm thick + 5 cm mineral wool + silicate brick wall 18 mm thick – achieved by the use of four methods (MLS, Swept Sine and classical method – measurement from positioned microphones and classical method – measurement from moving microphones)

Tablica 3. Zestawienie wyników pomiaru wzorcowej różnicy poziomów ściany podwójnej murowanej z cegły silikatowej grubości 25 cm + 5 cm wełny mineralnej + ściana z cegły silikatowej gr, 18 mm czterema metodami (MLS, Swept Sine, metoda klasyczna – pomiar różnicy poziomów ze stacjonarnych mikrofonów i metoda klasyczna – pomiar różnicy poziomów z ruchomych mikrofonów) oraz wartości powtarzalności pomiaru r dla każdej metody i wartość odtwarzalności dla czterech metod,

Tablica 3. Comparison of measurement results of standardized level difference of double silicate brick wall, 25 cm thick + 5 cm mineral wool + silicate brick wall 18 mm thick – achieved by the use of four methods (MLS, Swept Sine and classical method – measurement from positioned microphones and classical method – measurement from moving microphones) and repeatability values r for each method and reproducibility values for four methods

f Hz	MLS						Swept Sine						Metoda klasyczna – pomiar różnicy poziomów ze stacjonarnych mikrofonów						Metoda klasyczna – pomiar różnicy poziomów z ruchomych mikrofonów						R	r_{dop}	R_{dop}
	Pomiar					r	Pomiar					r	Pomiar					r									
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5				
50	43,8	43	44,3	42,8	43,1	1,7	42,5	43,8	42,5	42,5	44	2,1	43,7	43,1	44,2	43,7	43,7	1,1	43,7	43,3	43,3	43,7	42,7	1,1	1,70	-	-
63	46,2	45,4	45,6	46,1	46,9	1,6	46,4	46	46,4	45,7	46,9	1,3	46,2	45	45,6	46,5	46,3	1,7	45,6	46,4	46,1	46,1	46	0,8	1,42	-	-
80	42,2	44,3	41,7	45	44,3	4,0	42,6	44,3	42,6	44	41,7	3,0	43,6	43,5	43,7	42,4	43,1	1,5	42,1	43	42,6	42,6	43,8	1,8	2,72	-	-
100	47,6	47,8	47,7	47,7	48,3	0,8	47,6	46,6	47,6	47,3	46	1,9	47,9	46,8	47,6	47,4	47,6	1,1	47	47,5	47,7	46,9	48,7	2,0	1,75	4,5	9
125	52,3	52,6	52,6	52,4	52,3	0,4	52,4	52	52,4	51,9	52,1	0,6	52,7	51,6	52	52,8	52,3	1,4	52,4	51,6	51,4	52,7	52,3	1,5	1,09	4	8,5
160	58,5	58,6	59,2	58,1	58,6	1,1	59,7	59,3	59,7	59,6	60,1	0,8	59,3	58,7	59,6	59,3	59,6	1,0	59,2	58,6	58,7	59,1	57,9	1,4	1,80	3,5	6
200	56,8	56,8	57,2	56,5	56,2	1,0	56,6	57,4	56,6	57,4	57,3	1,2	57,3	57,5	57,7	57,4	57,3	0,5	56,9	56,2	56,4	56,7	56,1	0,9	1,50	3,5	5,5
250	61,9	61,6	62	61,7	62,2	0,7	61,7	61,9	61,7	61,6	62,2	0,7	61,4	61,2	61,6	61,4	61,6	0,5	61,8	61,8	61,4	62,1	61,5	0,8	0,85	2,5	5,5
315	62,7	62,8	62,9	62,8	63,4	0,8	63,3	63	63,3	63	63,4	0,5	62,5	62,7	62,6	62,6	62,7	0,2	62,6	62,1	62,4	62,4	62,4	0,5	1,12	2,5	5
400	65,5	65,4	65,5	65,5	65,7	0,3	64,8	64,7	64,8	64,8	64,5	0,4	64,2	64,6	64,3	64,6	64,3	0,5	65,1	65	65	65	65,1	0,2	1,38	2	4,5
500	66,2	65,8	66,2	66,1	66,2	0,5	65,5	65,7	65,5	65,1	65,6	0,6	65,1	65,3	65,1	65,2	65,3	0,3	65,9	65,4	65,6	65,7	65,4	0,6	1,17	2	4,5
630	67,9	67,8	68,1	67,7	67,8	0,4	67,6	67,6	67,6	67,5	67,8	0,3	67,4	67,5	67,5	67,8	67,6	0,4	67,5	67,1	67,3	67,2	67,1	0,5	0,82	1,5	3,5
800	68,8	68,3	68,7	68,4	68,7	0,6	68,6	68,5	68,6	68,6	68,7	0,2	68,3	68	68,1	68,2	68,3	0,4	68,4	68,2	68,1	68,6	68,2	0,6	0,73	1,5	3
1000	67,9	68	68	67,9	68	0,2	67,5	67,3	67,5	67,4	67,2	0,4	67,5	67,5	67,6	67,5	67,5	0,1	67,4	67,1	67,1	67,3	67,2	0,4	0,93	1,5	2,5
1250	70,4	70,1	70,3	70,2	70,2	0,3	69,7	69,9	69,7	69,5	69,7	0,4	70,1	69,8	70	70,3	70,2	0,5	69,7	69,6	69,7	69,6	69,5	0,2	0,91	1,5	3
1600	72,3	72,2	72,4	72,2	72,2	0,2	72	72,1	72	71,7	72,1	0,5	72,3	72,1	72,2	72,3	72,4	0,3	72	72	72,1	71,8	71,9	0,3	0,58	1,5	3,5
2000	69,3	69,8	69,9	69,3	69,5	0,8	69,5	69,4	69,5	69,1	69,4	0,5	69,5	69,3	69,5	69,3	69,3	0,3	68,6	69,2	69,1	68,7	69	0,7	0,95	1,5	3,5
2500	71,7	71,7	71,7	71,7	71,7	0,0	71,1	71,4	71,1	71,1	71,4	0,5	71,4	71,6	71,4	71,5	71,4	0,2	71,1	71,2	71,3	71,2	71,2	0,2	0,70	1,5	3,5
3150	71,6	71,5	71,8	71,4	71,4	0,5	70,5	70,9	70,5	70,4	70,7	0,6	71,1	70,9	71	70,9	71,1	0,3	70,8	70,8	70,7	70,8	70,6	0,2	1,22	1,5	3,5
4000	72,7	72,7	72,9	72,7	72,8	0,2	72,3	72,7	72,3	72,3	72,4	0,5	72,3	72,4	72,3	72,4	72,2	0,2	72,5	72,5	72,7	72,3	72,4	0,4	0,64	-	-
5000	71,7	71,7	71,7	71,7	71,7	0,0	67,9	68,3	67,9	68	68,3	0,10	73,7	73,9	73,7	73,6	73,9	0,4	73,7	73,9	74,2	73,5	73,8	0,7	0,68	-	-

4.6. Izolacyjność akustyczna w obecności wysokiego tła akustycznego

W celu oceny przydatności nowych technik pomiarowych do pomiarów w obecności wysokiego tła akustycznego przeprowadzono pomiary:

- izolacyjności akustycznej właściwej ściany szkieletowej o konstrukcji: $2 \times \text{GKB } 12,5 \text{ mm} + 2 \times \text{CW100}$ wełna mineralna ECOSE TP 115 gr. $2 \times 100 \text{ mm} + 2 \times \text{GKB } 12,5 \text{ mm}$,
- wzorcowej różnicy poziomu D_{nT} ściany podwójnej murowanej z cegły silikatowej grubości $25 \text{ cm} + 5 \text{ cm}$ wełny mineralnej + ściana z cegły silikatowej gr. 18 mm .

Pomiary przeprowadzono w obecności pracującego na hali (sąsiadującej z komorą odbiorczą) wzorcowego źródła dźwięków uderzeniowych (stukacza młotkowego) jako generatora zakłóceń tła akustycznego. Dodatkowo wykonano także serię pomiarów przy otwartych jednych drzwiach pomiędzy halą a komorą odbiorczą, czyli przy zwiększonym oddziaływaniu źródła zakłóceń. Wyniki te porównano z analogicznymi wynikami uzyskanymi w obecności klasycznego tła akustycznego.

Ocenie poddane zostały parametry izolacyjności akustycznej wyznaczone na podstawie pomiarów czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego trzema metodami:

- metodą MLS – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego i czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych,
- metodą Swept Sine – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego i czasu pogłosu pomieszczenia odbiorczego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych,
- metodą klasyczną – pomiar poziomu ciśnienia akustycznego w 7 stacjonarnych (rozieszczonych na okręgu) punktach pomiarowych.

Na rysunku 13 przedstawiono wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej właściwej ściany szkieletowej, natomiast na rysunku 14 wyniki pomiaru wzorcowej różnicy poziomów ściany podwójnej masywnej.

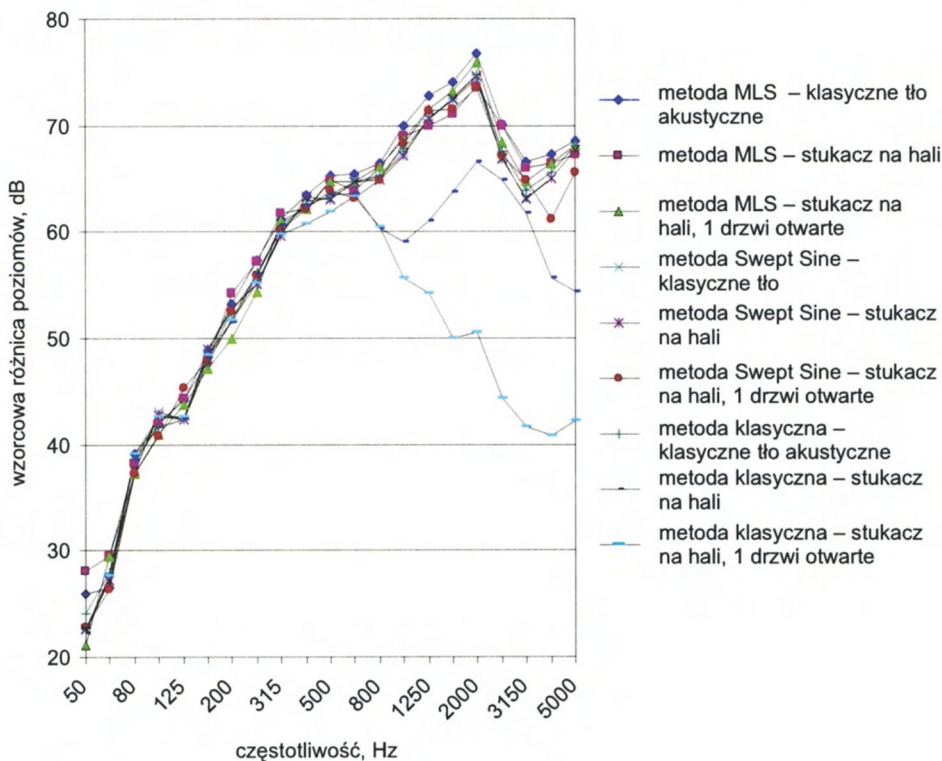
Zastosowanie nowych metod do pomiaru izolacyjności akustycznej pozwala na uzyskiwanie porównywalnych wyników zarówno w przypadku pomiarów przeprowadzanych w obecności klasycznego, jak i podwyższonego tła akustycznego. Metody te są znacznie mniej wrażliwe na zakłócenia zewnętrzne niż metoda klasyczna.

Wyniki pomiarów metodą klasyczną w obecności wysokiego tła akustycznego znacznie odbiegają (są niższe) od wyników pomiarów przeprowadzonych w obecności klasycznego (niskiego) tła akustycznego. Zmiany te są zwłaszcza widoczne w punktach, w których rzeczywista izolacyjność przegrody jest znacznie wyższa od tej, jaka wynika z różnicy pomiędzy poziomem ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym a poziomem tła akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym. Z tego powodu podczas pomiarów metodą klasyczną niedoszacowanie izolacyjności akustycznej – przy pomiarach z włączonym stukaczem młotkowym jako źródłem zakłóceń – nastąpiło w przypadku tych częstotliwości, dla których izolacyjność akustyczna była większa niż 60 dB . Niedoszacowanie to spowodowało spadek wskaźnika izolacyjności akustycznej nawet o około 15 dB w stosunku do rzeczywistej wartości wskaźnika.

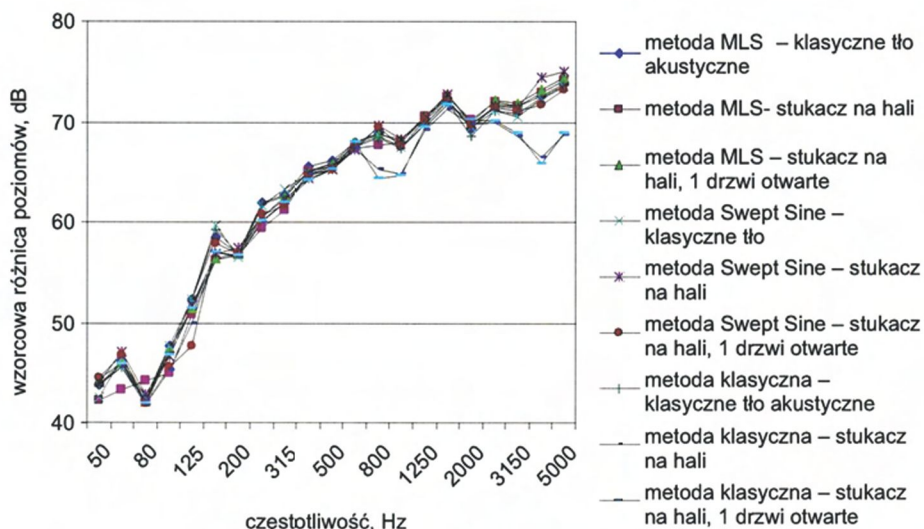
Opisane wyniki obrazują wyższość nowych technik pomiarowych nad metodami klasycznymi, szczególnie w przypadku pomiarów terenowych, gdzie wykonując pomiary kontrolne w budynku (nierządko w trakcie procesu jego wznoszenia), trudno się ustrzec zakłóceń tła akustycznego, zwłaszcza incydentalnego.

Zastosowanie nowych metod pomiarowych spowoduje, że takie chwilowe zakłócenia tła akustycznego (stuki, krzyki) będą całkowicie eliminowane w procesie pomiarowym. Należy nadmienić, że zaprezentowane wyniki pomiarów dotyczyły pomiarów laboratoryjnych. Jednakże sposób wykonywania pomiarów we wszystkich pomiarach izolacyjności akustycznej (od dźwięków powietrznych) jest identyczny: mierzona jest różnica poziomu ciśnienia akustycznego i czas pogłosu pomieszczenia odbiorczego.

Mając to na uwadze można stwierdzić, że uzyskane w ramach niniejszych badań wnioski są prawdziwe w przypadku wykonywania wszystkich pomiarów (laboratoryjnych i terenowych).



Rys. 13. Zestawienie wyników pomiaru izolacyjności akustycznej właściwej ściany szkieletowej w obecności klasycznego i podwyższonego tła akustycznego
 Fig. 13. Comparison of results of acoustic insulation measurement of a given framework wall in presence of classic and increased background noise



Rys. 14. Zestawienie wyników pomiaru wzorcowej różnicy poziomów ściany masywnej w obecności klasycznego i podwyższonego tła akustycznego

Fig 14. Comparison of results of standardized level difference of massive wall in presence of classic and increased background noise

5. Uwagi końcowe

- Wyniki pomiaru czasu pogłosu i różnicy poziomów ciśnienia akustycznego w punkcie stacjonarnym uzyskane nowymi metodami (MLS, Swept Sine) są niemal identyczne, niezależnie od liczby powtórzeń, z czego wynika, że w przypadku pomiarów czasu pogłosu i różnicy poziomu uderzeniowego nowymi metodami reprezentatywny jest pojedynczy pomiar.

- Wartości czasu pogłosu i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego w punkcie stacjonarnym są w zasadzie zbliżone do siebie, niezależnie od zastosowanej metody pomiaru. W zakresie częstotliwości powyżej 200 Hz wyniki te można uznać za niemal identyczne, natomiast w zakresie poniżej 200 Hz wyniki otrzymywane za pomocą nowych metod są do siebie bardzo zbliżone, jednakże nieznacznie odbiegają (są wyższe) od wyników uzyskanych metodą klasyczną. Należy jednak zauważyć, że w przypadku zastosowania metody klasycznej rozrzuty przy pomiarze czasu pogłosu na niskich częstotliwościach są znaczne i sięgają nierzadko powyżej 30%.

- Niezależnie od zastosowanej długości pobudzenia, w obu nowych metodach w punkcie stacjonarnym otrzymywane są te same wartości czasu pogłosu i różnicy poziomu ciśnienia akustycznego, a w związku z tym dłuższe czasy uśrednienia należy stosować tylko w przypadku niewystarczającego odstępu pomiędzy sygnałem a szumem.

- Uzyskano porównywalne wartości współczynnika pochłaniania dźwięku niezależnie od zastosowanej metody badawczej. Wartości powtarzalności pomiaru zawierają się

zazwyczaj w przedziale poniżej 0,05, z nielicznymi przekroczeniami mieszczącymi się w przedziale do 0,1. i niemal identyczną wartością odtwarzalności pomiaru.

- Niskie wartości powtarzalności i odtwarzalności uzyskano w przypadku pomiarów izolacyjności akustycznej przegród. Wartości te mieszczą się w przedziale o połowę mniejszym niż wartości dopuszczalne.

- Wysoka zbieżność wyników uzyskanych ze wszystkich testowanych metod pozwala na stosowanie nowych metod pomiarowych jako alternatywy dla metody klasycznej.

- Zastosowanie nowych metod do pomiaru izolacyjności akustycznej pozwala na uzyskiwanie porównywalnych wyników dla pomiarów przeprowadzanych w obecności zarówno klasycznego, jak i podwyższonego tła akustycznego. Metody te są znacznie mniej wrażliwe na zakłócenia zewnętrzne niż metoda klasyczna.

Normy

- [1] PN-EN ISO 18233:2006 Akustyka – Zastosowanie nowych metod pomiarowych w akustyce budynku i pomieszczeń
- [2] PN-EN 20140-3:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych elementów budowlanych
- [3] PN-EN ISO 140-4:2000 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami
- [4] PN-EN ISO 140-5:1999 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów
- [5] PN-EN 20140-9:1998 Akustyka – Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych dla sufitu podwieszanego z przestrzenią nad sufitem, mierzonej pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami
- [6] PN-EN 20140-10:1994 Akustyka – Pomiary izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiary laboratoryjne izolacyjności od dźwięków powietrznych małych elementów budowlanych
- [7] PN-EN ISO 140-11:2005 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 11: Pomiary laboratoryjne wyciszenia przenoszonych dźwięków uderzeniowych przez wykładziny podłogowe na lekkich stropach
- [8] PN-EN ISO 140-12:2001 Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 12: Pomiar laboratoryjny izolacyjności od dźwięków powietrznych i uderzeniowych podniesionej podłogi pomiędzy dwoma sąsiednimi pomieszczeniami
- [9] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 1: Pomieszczenia specjalne
- [10] PN-EN ISO 3382-2:2008 Akustyka – Pomiary parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2: Czas pogłosu w zwykłych pomieszczeniach
- [11] IEC Electroacoustic – Sound level meters – Part 1: Specifications

[12] ISO 17497-1:2004 Acoustic –Sound-scattering properties of surfaces – Part 1: Measurement of the random-incidence scattering coefficient in a reverberation room

APPLICATION OF MLS AND SS IN ACOUSTIC MEASUREMENTS IN PRESENCE OF HIGH BACKGROUND NOISE

Summary

This paper includes general information on measurement methods with the use of impulse response. Requirements concerning new measurement techniques have been described and results of measurements conducted using new methods (MLS, Swept Sine) have been presented. Results achieved by the use of new techniques and those achieved by classical methods have been compared.

Praca wpłynęła do Redakcji 22 IX 2010 r.