

dr hab. inż. Artur Nowosiwiat<sup>1)\*</sup>

ORCID: 0000-0002-0277-7388

mgr Michał Bukala<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-4172-7754

dr inż. Andrzej Chyla<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0001-6647-2375

# Wpływ warunków otoczenia na wyznaczanie izolacyjności akustycznej przegród budowlanych techniką natężeniową w badaniach in situ

*The influence of ambient conditions on determining the acoustic insulation of building partitions using the intensity technique in in situ tests*

DOI: 10.15199/33.2023.08.09

**Streszczenie.** W ramach opisanych badań przeprowadzono pomiary izolacyjności akustycznej fragmentu ściany pomieszczenia w warunkach in situ, którego czas pogłosu w rejonie badanej próbki był modyfikowany przez zastosowanie materiału pochłaniającego falę akustyczną i wynosił 1,09 s lub 1,71 s. Przeprowadzone pomiary wykazały istotny wpływ zmiany parametrów pogłosowych pomieszczenia na normowe wskaźniki oceny pola, a w konsekwencji na możliwość przeprowadzenia oceny. Przedstawione wyniki wskazują na praktyczne ograniczenia metody wynikające z warunków środowiskowych w zakresie pogłosowości pomieszczenia. W artykule zaproponowano relatywnie prostą metodę pozwalającą na istotną poprawę parametrów pola akustycznego w stopniu wystarczającym do realizacji pomiarów.

**Słowa kluczowe:** czas pogłosu; izolacyjność akustyczna; sonda natężeniowa; pole akustyczne.

**Abstract.** As part of the described tests, measurements of the acoustic insulation of a wall fragment were carried out in situ, in a room whose reverberation time in the area of the tested sample was modified by the use of a material absorbing the acoustic wave and was 1,09 or 1,71 s. The measurements carried out showed a significant impact of changes in room reverberation parameters on the standard indicators of the field assessment and, consequently, on the possibility of carrying out the assessment. The results presented indicate the practical limitations of the method resulting from environmental conditions in terms of room reverberation. The article proposes a relatively simple method that allows for a significant improvement in the parameters of the acoustic field to a degree sufficient to carry out measurements.

**Keywords:** reverberation time; sound insulation; intensity probe; sound field.

Hałas zarówno uderzeniowy, jak i powietrzny należy do najbardziej irytujących źródeł dźwięku w budynkach zamieszkania zbiorowego [1 ÷ 3]. Pomimo uciążliwości hałasu w budynkach, większość badań izolacyjności akustycznej wykonuje się w laboratoriach. Podstawową trudnością w ilościowym określaniu izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych jest to, że zależy ona nie tylko od wymiarów i właściwości konstrukcji, ale także od charakteru pola akustycznego w pomieszczeniu nadawczym i odbiorczym [4, 5] oraz sposobu instalacji próbki w otworze [6, 7]. Wskaźnik izolacyjności akustycznej jest jednym z najczęściej stosowanych para-

metrów w projektach akustycznych, a jego zastosowanie ma na celu zapewnienie odpowiedniej izolacyjności akustycznej ścian [8].

Pomiary izolacyjności akustycznej polegają na nadaniu sygnału akustycznego w pomieszczeniu nadawczym i odbiorze tego sygnału w pomieszczeniu odbiorczym. Należy mieć jednak na uwadze to, iż pomiar izolacyjności akustycznej nie jest pomiarem bezpośrednim, ponieważ jej wielkość oblicza się na podstawie innych mierzonych parametrów, takich jak poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym i odbiorczym, czas pogłosu w pomieszczeniu odbiorczym, powierzchnia badanej próbki, objętość pomieszczenia odbiorczego [9]. Ich określenie podczas badań in situ nie należy do najłatwiejszych. Chcąc uniknąć niektórych niedogodności pomiarowych, do któ-

rych należy np. konieczność uwzględnienia przenoszenia bocznego, można zastosować metodę natężeniową jako pewną alternatywę.

W artykule przedstawiono wpływ charakteru pola akustycznego na możliwość wyznaczenia izolacyjności akustycznej przegrody budowlanej metodą natężeniową. Zaproponowano także metodę jakościowej oceny właściwości dźwiękoizolacyjnych przegrody budowlanej, bazującą na wizualizacji wektora natężenia fali akustycznej. Metoda ta nie jest opisywana w literaturze, a sposób pomiaru zaprezentowany w artykule może być uzupełnieniem znanych metod pomiarowych.

## Metoda pomiarów

Pomiary wykonano zgodnie z normą ISO 15186-1 [10]. Izolacyjność akustyczną wyznaczono z równania:

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

<sup>2)</sup> SVANTEK Sp. z o.o.

<sup>\*</sup>) Adres do korespondencji: artur.nowosiwiat@polsl.pl

$$R_l = L_{p_l} - 6 \left[ L_{in} + 10 \lg \left( \frac{S_m}{S} \right) \right] \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

gdzie:

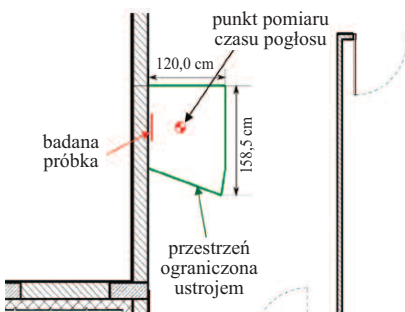
$L_{p_l}$  – średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym;  
 $L_{in}$  – średnie natężenie zmierzone na powierzchni pomiarowej w pomieszczeniu odbiorczym;  
 $S_m$  – całkowita powierzchnia pomiarowa;  
 $S$  – powierzchnia próbki.

Należy podkreślić, że wzór (1) nie uwzględnia przenoszenia bocznego, czyli wyniki in situ porównywalne są z badaniem laboratoryjnym (co należy uznać za zaletę metody), lecz nie można jej stosować do porównania z wymaganiami przepisów dotyczących np. R<sup>3</sup>A1.

Pomiary wykonano w dwóch krokach badawczych. W pierwszym określono poziom dźwięku w pomieszczeniu nadawczym ( $L_{p_l}$ ) za pomocą analizatora SVAN 958. Natomiast w drugim kroku wykonano pomiary poziomu natężenia  $L_{in}$  techniką stałych punktów oraz techniką omiatania, stosując skalibrowaną w polu swobodnym dwumikrofonową sondę G.R.A.S. 50 AI. Przed pomiarami określono wskaźnik natężenia szczytkowego zestawu pomiarowego w warunkach laboratoryjnych, posługując się sprzągaczem G.R.A.S. 51AB. Zastosowano odległość między mikrofonami 25 mm. Pomiary zrealizowano w odległości 15 cm od próbki.

Próbka miała wymiary 40 x 40 cm. Na potrzeby pomiarów realizowanych w stałych punktach pomiarowych zastosowano 5 x 5 punktów o rozdzielczości 10 cm. Siatkowanie próbek umożliwia badanie jednorodności natężenia emitowanego dźwięku na powierzchni ścian, co jest interesujące szczególnie w przypadku materiałów kompozytowych, z których wykonano konstrukcję nośną [11]. Czas pomiaru w każdym punkcie wynosił 0,5 min. Pomiary pod kątem wyznaczenia wskaźnika izolacyjności akustycznej  $R_w$  wykonano techniką omiatania w liniach wyznaczonych na zdefiniowanej siatce pomiarowej z prędkością omiatania ok. 0,2 m/s. Badaniu poddano niewielki fragment ściany, wykonanej z bloczków silikatowych na pióro-wpust. Badana próbka znajdowała się w nowo wybudowanym budynku mieszkalnym w lokalu w stanie surowym. Analizę wyników wykonano w zakresie 50 – 5000 Hz.

Ocenie poddano wpływ zmiany czasu pogłosu w rejonie badanej próbki na osiągnięty wynik izolacyjności akustycznej. Badania czasu pogłosu przeprowadzono w pustym pomieszczeniu, a następnie w polu pomiaru zabudowanym płytami z wełny mineralnej. Zmianę środowiska badawczego wprowadzono, konstruując w warunkach terenowych wydzielenie z wełny mineralnej opakowanej w folię transportową, obejmujące powierzchnię próbki (rysunek 1). Pomiaru czasu pogłosu dokonano w jednym punkcie w odległości 50 cm od badanej próbki. Punkt pomiarowy był niezmienny zarówno przy pomiarze w pomieszczeniu bez zabudowy, jak i po zabudowie.



Rys. 1. Schemat pola pomiarowego  
 Fig. 1. Measurement field scheme

W obu przypadkach zachowano wymagania dotyczące kryterium kwalifikacji pola bazujące na wskaźniku  $F_{pl}$ :

$$\begin{cases} \delta_{pl0}(f) > F_{pl} + 10 \text{ [dB]} \\ F_{pl}(f) < 10 \text{ [dB]} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$F_p$  – różnica między poziomem ciśnienia akustycznego  $L_p$  a normalnym poziomem natężenia dźwięku  $L_{in}$  na powierzchni pomiarowej, będąca uśrednieniem czasowym i powierzchniowym;

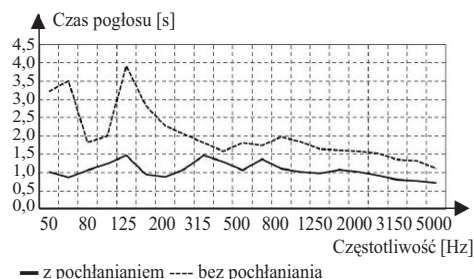
$\delta_{pl0}$  – różnica między wskazanym poziomem ciśnienia akustycznego  $L_p$  a wskazanym poziomem natężenia dźwięku  $L_p$ , gdy sonda natężeniowa jest umieszczona i zorientowana w polu dźwiękowym w taki sposób, że natężenie dźwięku wynosi zero.

Wartość stosunku powierzchni badanej próbki S do powierzchni pochłaniającej pomieszczenia A spełnia wymagania  $S/A < 1,25$  w obu przypadkach pomiaru czasu pogłosu.

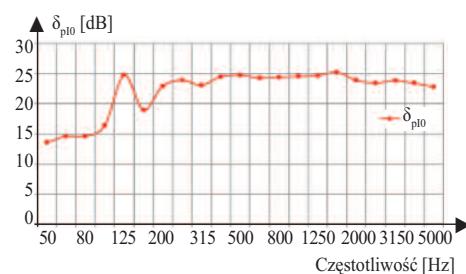
### Omówienie wyników badań

W pierwszej kolejności przedstawiamy wyniki pomiarów czasu pogłosu pomieszczenia bez adaptacji akustycznej oraz z adaptacją akustyczną

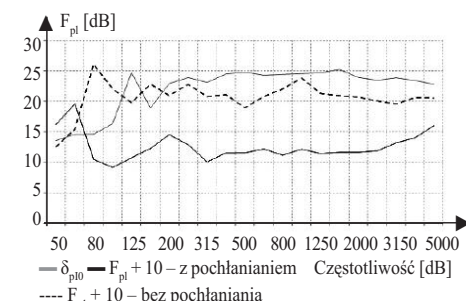
(rysunek 2). Wyznaczono również wskaźniki natężenia szczytkowego sondy (rysunek 3). Na rysunku 4 przedstawiono wartość wskaźnika  $F_{pl}$  w przypadku obu wariantów pomiaru, które wykazują bardzo silną wrażliwość na wartość czasu pogłosu.



Rys. 2. Wyniki pomiaru czasu pogłosu  
 Fig. 2. Reverberation time measurement results



Rys. 3. Wskaźnik natężenia szczytkowego sondy w funkcji częstotliwości  
 Fig. 3. The indicator of the probe's residual current as a function of frequency

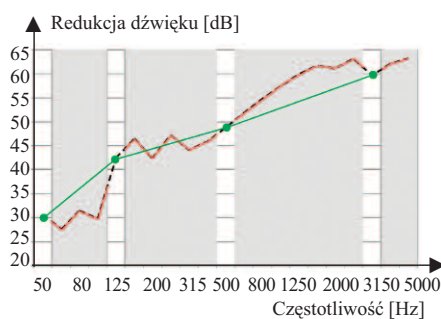


Rys. 4. Wartość wskaźnika  $F_{pl}$  w sytuacji bez wprowadzonego pochłaniania oraz z pochłanianiem

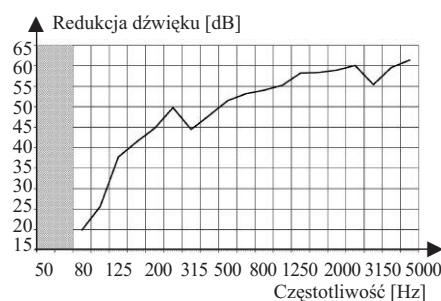
Fig. 4. The value of the  $F_{pl}$  index for the situation without absorption and with absorption

**Wpływ pogłosowości pola akustycznego na wyniki pomiarów.** W przypadku pomiarów bez obecności materiału pochłaniającego żadne z analizowanych pasm częstotliwości nie spełnia kryteriów kwalifikacji pola. Natomiast podczas pomiaru z obecnością materiału pochłaniającego nie zostały zapewnione odpowiednie warunki jedynie w zakresie pasma niskich częstotliwości (50 – 63 Hz). Wynika z tego, że

wyznaczenie izolacyjności akustycznej techniką natężeniową zależy w bardzo dużym stopniu od charakteru pola akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym. W metodach klasycznych rozproszenie pola akustycznego jest zjawiskiem bardzo korzystnym, ale przy posługiwaniu się techniką natężeniową stanowi czynnik niepożądany i w wielu przypadkach uniemożliwiający realizację pomiaru. Na rysunkach 5 oraz 6 przedstawiono uzyskane w obu przypadkach charakterystyki izolacyjności akustycznej z zaznaczeniem pasm częstotliwości, w których normowe kryteria kwalifikacji pola nie zostały spełnione.



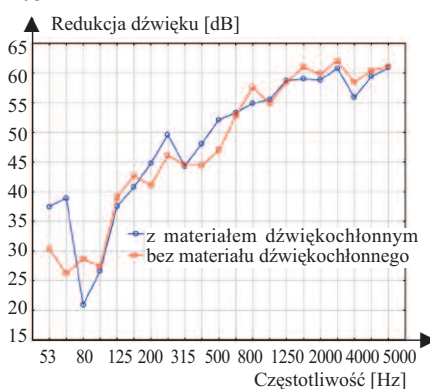
**Rys. 5. Charakterystyka izolacyjności akustycznej pomieszczenia pogłosowego**  
Fig. 5. Acoustic insulation characteristics of the reverberation room



**Rys. 6. Charakterystyka izolacyjności akustycznej pomieszczenia z materiałem pochłaniającym**  
Fig. 6. Acoustic insulation characteristics of a room with absorbing material

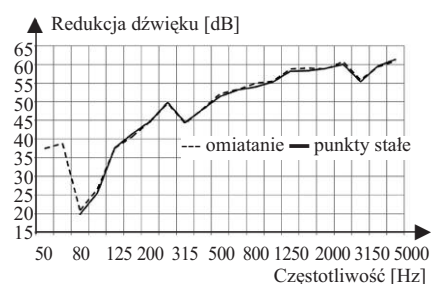
Na rysunku 5 zaznaczono szarymi polami te pasma częstotliwości, w przypadku których nie zostały spełnione normowe kryteria kwalifikacji. Kolorem czerwonym połączono punkty znajdujące się w tych niekwalifikowalnych pasmach częstotliwości, natomiast kolorem zielonym cztery punkty znajdujące się w pasmach częstotliwości, w przypadku których spełnione są normowe kryteria kwalifikacji. Na rysunku 6 widać, że normowe kryteria kwalifikacji pomieszczenia z materiałem pochłania-

jącym są spełnione w zasadzie we wszystkich pasmach tercjowych. Wyjątkiem jest bardzo mała częstotliwość, która nie wpływa na wynik końcowy. Na rysunku 7 przedstawiono izolacyjność akustyczną próbki w dwóch analizowanych przypadkach w sytuacji, gdyby pominąć weryfikację pola akustycznego. Wynika z niego, że po odrzuceniu etapu weryfikacji pola akustycznego ocena ilościowa izolacyjności akustycznej przegrody daje zbliżone wyniki. Najprawdopodobniej wynika to z mechanizmu pomiarów natężenia, czyli zerowania go w polu rozproszonym na zamkniętej powierzchni pomiarowej. W przypadku pola pogłosowego otrzymujemy  $R_{l,w}(C, C_{tr}) = 54 (-2, -7)$ , a pola z materiałem dźwiękochłonnym  $R_{l,w}(C, C_{tr}) = 54 (-3, -10)$ , przy czym  $C$  i  $C_{tr}$  to widmowe wskaźniki adaptacyjne.



**Rys. 7. Porównanie charakterystyk izolacyjności wyznaczonych z pominięciem weryfikacji warunków pola**  
Fig. 7. Comparison of insulation characteristics determined without verification of field conditions

**Techniki pomiarów.** Bazując na pomiarach przeprowadzonych w warunkach ograniczonego pogłosu, dokonano analizy wyboru techniki pomiaru (stałych punktów pomiarowych bądź omiatania). Skanowanie powierzchni realizowane w ramach techniki omiatania pozwala na pomiarowe określenie natężenia fali akustycznej na większym fragmencie badanej próbki niż w przypadku wyboru dyskretnych punktów. Natomiast technika stałych punktów pomiarowych redukuje negatywny wpływ potencjalnych zakłóceń wynikających z ruchu sondy. Uzyskana różnica charakterystyk izolacyjności akustycznej (rysunek 8), w zakresie istotnym



**Rys. 8. Porównanie charakterystyk częstotliwościowych izolacyjności akustycznej wyznaczonych metodą omiatania i metodą stałych punktów pomiarowych**

Fig. 8. Comparison of frequency characteristics of acoustic insulation determined by the sweep method and the method of fixed measurement points

do wyznaczenia wskaźników jednoliczbowych, nie przekracza 1 dB, przy czym średnia różnica wynosi 0,2 dB. W rozpatrywanym przypadku nie stwierdzono wpływu zmiany techniki pomiarowej na wartości wskaźników  $R_{l,w}$  oraz  $C_{tr}$ . W przypadku wskaźnika adaptacyjnego  $C_{tr}$  różnica wyniosła 1 dB (tabela).

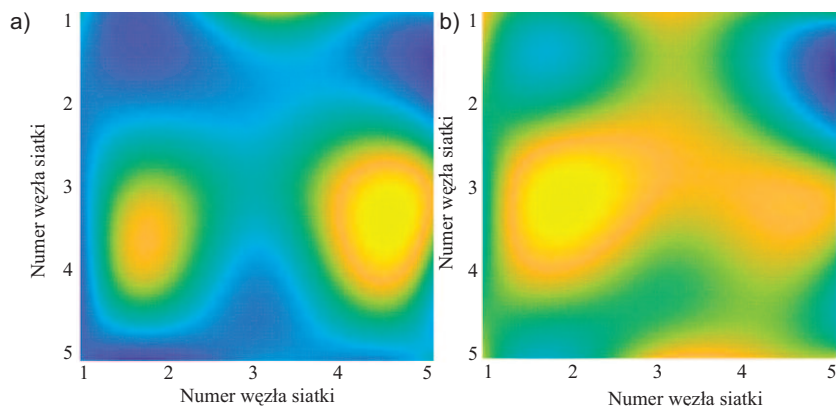
**Wpływ techniki pomiarowej na parametry akustyczne**

The influence of the measurement technique on acoustic parameters

Wskaźnik oceny	Metoda stałych punktów	Metoda omiatania
$R_{l,w}$	54	54
$C$	-3	-3
$C_{tr}$	-10	-9

Zaobserwowano brak możliwości wyznaczenia wartości izolacyjności akustycznej techniką stałych punktów pomiarowych w pasmach 50 i 63 Hz, w których przy użyciu techniki omiatania wartości mogły być wyznaczone. Odbiegają one jednak od oczekiwanych i odwzorowują przebieg charakterystyki wskaźnika  $F_{pl}$  w tym zakresie częstotliwości, co wskazuje, że nie odzwierciedlają rzeczywistych parametrów przegrody.

**Jakościowa ocena właściwości przegrody budowlanej.** Dodatkowym, istotnym aspektem pomiarów realizowanych techniką natężenia dźwięku w dyskretnych punktach pomiarowych jest możliwość wizualizacji sposobu propagacji fali akustycznej przez badaną przegrodę. Fotografia przedstawia obrazy uzyskane z pomiarów w dwóch opisanych wariantach w przypadku pasma częstotliwości 3150 Hz. Przy tej częstotliwości występuje lokalne minimum w charakterystyce izolacyjności aku-



**Mapa propagacji: a) z pochłanianiem; b) bez pochłaniania**  
*Propagation map: a) with absorption; b) without absorption*

stycznej. Jej wizualizacja umożliwia identyfikację regionów odpowiedzialnych za takie osłabienie.

Ocena jakościowa przeprowadzona w warunkach zredukowanego pogłosu precyzyjnie wskazała rejony osłabienia izolacyjności. W przypadku pomiarów przeprowadzonych w warunkach pogłosowych precyzja obrazowania jest istotnie zredukowana i nie pozwala na zlokalizowanie słabych punktów przegrody budowlanej.

## Podsumowanie

W artykule przedstawiono metodę pomiaru izolacyjności akustycznej przegród przy użyciu sondy natężeniowej w warunkach in situ. Zaproponowaną metodą wyznaczono izolacyjność akustyczną fragmentu ściany opisaną wskaźnikiem  $R_w$ . Zastosowanie natężeniowej techniki pomiarowej pozwala na pominięcie wpływu bocznego przenoszenia dźwięku, co umożliwia ocenę parametrów poszczególnych elementów składowych przegrody budowlanej. Metodę zweryfikowano w dwóch środowiskach akustycznych. Pierwszym było pomieszczenie o długim czasie pogłosu wynoszącym ok. 2 s przy średniej częstotliwości. Drugim środowiskiem było pomieszczenie z adaptacją akustyczną o czasie pogłosu w pasmach średnich częstotliwości wynoszącym  $1 \div 1,5$  s. Na podstawie wyników pomiarów stwierdzono, że:

1) wartość wskaźnika  $F_{pt}$  przedstawionego na rysunku 4 sugeruje, że w przypadku pomieszczenia o zbyt długim czasie pogłosu nie można stosować metody natężeniowej do wyznaczenia izolacyjności akustycznej przegród budowlanych, gdyż normowe kryteria kwalifikacji nie są spełnione;

2) zastosowanie techniki omiotania może powodować niepoprawną klasyfikację pola akustycznego w zakresie małej częstotliwości, co nie występuje w przypadku techniki stałych punktów pomiarowych;

3) obrazowanie propagacji fali akustycznej przez przegrodę niesie istotne informacje diagnostyczne, ale jest podatne na charakter pola akustycznego w rejonie badanej próbki.

Zaobserwowano również, że w przypadku rozpatrywanego poligonu pomiarowego pomimo niespełnienia warunków weryfikacji pola akustycznego w pomieszczeniu pogłosowym, wynik izolacyjności akustycznej badanej próbki jest bardzo podobny jak w przypadku pola akustycznego spełniającego warunki weryfikacji. Gdyby pominąć tę weryfikację, to na podstawie rysunku 6 można stwierdzić podobieństwo charakterystyk izolacyjności akustycznej w funkcji częstotliwości w przypadku obu badanych warunków pogłosowych pomieszczenia (jednoliczbowy wskaźnik izolacyjności akustycznej jest taki sam i wynosi  $R_w = 54$  dB, a różnica występuje w widmowych wskaźnikach adaptacyjnych). Co ciekawe, wartość wskaźnika izolacyjności  $R_w$  otrzymana za pomocą pomiaru jest zbliżona do wartości katalogowej badanej ściany wynoszącej  $R_w = 56$  dB. Różnica ta odpowiada zaleceniom normy PN-B 02151:2015 [12], która zakłada odstępstwo na poziomie 2 dB ze względu na dokładność montażu.

Ostatni wniosek sugeruje, że należałoby wykonać wiele badań, które mogłyby pomóc w rozszerzeniu założeń

dotyczących warunków pomiaru izolacyjności akustycznej metodą natężeniową. Pozwoliłoby to uprościć metodę badawczą w terenie.

## Literatura

- [1] Park SH, Lee PJ, Yang KS, Kim KW. Relationship between non-acoustic factors and subjective reactions to floor impact noise in apartment buildings. *J. Acoust. Soc. Am.* 2016, <https://doi.org/10.1121/1.4944034>.
- [2] Benz SL, Kuhlmann J, Schreckenberger D, Wothge J. Contributors to neighbour noise annoyance. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2021, <https://doi.org/10.3390/ijerph18158098>.
- [3] Andargie MS, Touchie M, O'Brien W, Müller-Traped M. A field study of the relationship between sound insulation and noise annoyance, activity disturbance and wellbeing in multi-unit residences. *Applied Acoustics* 2023, <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2023.109291>.
- [4] Reynnders EPB, Van hoorickx C. Uncertainty quantification of diffuse sound insulation values. *Journal of Sound and Vibration* 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jsv.2022.117404>.
- [5] Fahy F, Gardonio P. *Sound and structural vibration: radiation, transmission and response.* 2nd edition, Academic Press, Oxford, UK, 2007.
- [6] Yao D, Zhang J, Wang R, Xiao X. Effects of mountings positions and boundary conditions on the sound transmission loss of panels in a niche. *J. Zhejiang Univ. Sci.* 2020, <https://doi.org/10.1631/jzus.A1900494>.
- [7] Wang R, Yao D, Zhang J, Xiao X, Li Y. Effect of installation conditions on laboratory sound insulation measurement and an equivalent method for simply supported boundary. *Applied Acoustics* 2022. HYPERLINK <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108593> doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108593.
- [8] Dulak L. Ocena izolacyjności akustycznej w jednorodnym budynku dwulokalowym na podstawie pomiarów terenowych. *Materiały Budowlane* 2020, <https://doi.org/10.15199/33.2020.08.01>.
- [9] Iżewska A. Niepewność pomiarów izolacyjności akustycznej przegród budowlanych i ich elementów. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik.* 2010; 2 (154).
- [10] ISO 15186-1/2:2000 Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements using sound intensity – Part 1: Laboratory measurements – Part 2: Field Measurements.
- [11] Glé P, Massossa-Telo G, de Menibus AH, Degraeve-Lemeurs M, Gourdon E. Characterization and modeling of the sound reduction of hemp-clay walls in buildings. *Journal of Building Engineering.* 2010; DOI.org/j.job.2021.102315.
- [12] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 3. Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród budowlanych w budynkach i elementów budowlanych.

*Publikacja wspierana w ramach rektorskiego grantu projakościowego. Politechnika Śląska, 03/030/RGJ23/0161*

*Przyjęto do druku: 31.07.2023 r.*