

mgr inż. arch. Bartłomiej Ziarko<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0002-8836-5586

dr inż. Agata Szela<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-9058-565X

dr inż. Marcin Zastawnik<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0002-2802-8190

# Wpływ warstw sufitowych i podłogowych stropu oddzielającego garaż od lokali mieszkalnych na ich izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych

## *Influence of ceiling and floor layers between the garage and residential apartments on their airborne sound insulation*

DOI: 10.15199/33.2022.08.05

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono analizę izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych wybranych stropów nad garażami podziemnymi w budynkach wielorodzinnych. Podano wyniki pomiarów izolacyjności akustycznych wraz z porównaniem ich z wymaganiami normowymi. Zaprezentowano przykłady wpływu zastosowania podłogi pływającej oraz ocieplenia stropu nad garażem podziemnym na izolacyjność akustyczną stropu od dźwięków powietrznych.

**Słowa kluczowe:** architektura; akustyka; izolacyjność akustyczna; zabudowa mieszkaniowa.

**Abstract.** The article concerns the analysis of airborne sound insulation for selected ceilings over underground garages in multi-family buildings. The results of measurements of acoustic insulation are presented together with their comparison to the standard requirements. The article also includes examples of the impact of the use of floating floors and the thermal insulation of the ceiling above the underground garage on airborne sound insulation.

**Keywords:** architecture; acoustics; acoustic insulation; housing.

Wszystkie nowo powstające inwestycje powinny spełniać wymagania wynikające z ustaleń miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego, który zawiera m.in. wskaźniki parkingowe, wskazujące niezbędną liczbę stanowisk postojowych w projektowanych obiektach z uwzględnieniem ich funkcji użytkowej i lokalizacji [1]. Ograniczona przestrzeń miejska i wysoki koszt gruntów sprawia, że dobrym rozwiązaniem staje się pozyskanie dodatkowej powierzchni, np. pod ziemią. Parkingi i garaże podziemne są już powszechnym sposobem na zapewnienie inwestycji wymaganej liczby miejsc postojowych, przy proporcjonalnie nieznaczonym zwiększeniu kosztów. Takie rozwiązanie wiąże się jednak z pewnymi wyzwaniem. Niezabezpieczenie termicznie kondygnacji garażu może spowodować znaczne straty ciepła, co rów-

nocześnie drastycznie zwiększyłyby koszty ogrzewania całego obiektu. Ogrzewanie przestrzeni garażu jest zazwyczaj nieopłacalne, dlatego tak istotna jest odpowiednia termoizolacja powierzchni stropu pomiędzy garażem a lokalami na wyższych ogrzewanych kondygnacjach. Jednym z głównych parametrów, jakim musi charakteryzować się przegroda, jest współczynnik przenikania ciepła  $U$ , który zgodnie z [2] ma wynosić  $0,25 \div 1,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  w zależności od temperatury pomieszczeń ogrzewanych znajdujących się nad garażem. Oprócz wymagań termicznych, w świetle obowiązujących norm i przepisów, stropy powinny charakteryzować się także odpowiednimi parametrami akustycznymi. Należy podkreślić, że rodzaj zastosowanego materiału termoizolacyjnego oraz sposób jego montażu będzie miał istotny wpływ na izolacyjność akustyczną przegrody oraz na czas pogłosu pomieszczenia, co jest istotne w kontekście Dźwiękowych Systemów Ostrzegawczych DSO.

W artykule przeanalizowano wpływ termoizolacji stropów pomiędzy garażem a lokalami mieszkalnymi w budyn-

kach wielorodzinnych w kontekście ich izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych w odniesieniu do wymagań normy PN-B-02151-3:2015-10 [3]. Prezentowane analizy bazują na wynikach pomiarów terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych przeprowadzonych zgodnie z normą [4].

### Charakterystyka badanych przegród

Analizowane przegrody znajdują się w trzech budynkach mieszkalnych pomiędzy strefą garażu podziemnego a wybranymi pokojami lokali mieszkalnych znajdujących się bezpośrednio nad pomieszczeniami garażu. Wszystkie obiekty zostały wykonane w żelbetowej konstrukcji szkieletowej, gdzie warstwę konstrukcyjną stropów stanowiły monolityczne płyty żelbetowe o grubości  $20 \div 25 \text{ cm}$  (tabela 1). Ściany wewnętrzne oraz wewnętrzne wykonane jako murowane z pustaków betonowych wzmacniane lokalnie słupami lub ścianami żelbetowymi.

Pomiary w pierwszym obiekcie zostały podzielone na trzy etapy związane

<sup>1)</sup> Politechnika Krakowska; Wydział Inżynierii Łądowej

<sup>2)</sup> Uniwersytet Humanistyczno-Przyrodniczy im. Jana Długosza w Częstochowie; Wydział Nauk Ścisłych, Przyrodniczych i Technicznych

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: bziarko@pk.edu.pl

**Tabela 1. Charakterystyka analizowanych przegród**

Table 1. Characteristic of the analyzed partitions

Nr budynku	Oznaczenie przegrody	Warstwy	Grubość warstwy [cm]	Powierzchnia przegrody [m <sup>2</sup> ]
1	1_A	+ strop żelbetowy	20	23,8
	1_B-S	+ wylewka cementowa	7-8	
		+ izolacja akustyczna: styropian	5,4	
	1_B-W	+ strop żelbetowy	20	29,0
+ wylewka cementowa		7-8		
+ izolacja akustyczna: wełna skalna		5		
1_C-W	+ strop żelbetowy	20	10,5	
	+ wylewka cementowa	7-8		
	+ izolacja akustyczna: wełna skalna	5		
	+ termoizolacja: wełna lamelowa klejona	20		
2	2_A	+ wylewka cementowa	5	11,3
		+ izolacja akustyczna: styropian	5	
	+ strop żelbetowy	22		
	2_B	+ wylewka cementowa	5	
+ izolacja akustyczna: styropian		5		
3	3_A	+ strop żelbetowy	22	11,3
		+ termoizolacja: wełna lamelowa klejona	20	
		+ wylewka cementowa	6	
		+ izolacja akustyczna: styropian	6	
3	3_A	+ strop żelbetowy	25	27,9
		+ termoizolacja: wełna o zaburzonem układzie włókien	10	
		+ wylewka cementowa	6	
		+ izolacja akustyczna: styropian	6	

ze stopniem wykończenia przegrody. Pierwszy etap dotyczył pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych niewykończonego stropu grubości 20 cm. W drugim etapie wykonano pomiary tego samego stropu, ale wraz z warstwami wykończeniowymi podłogi pływającej. Jako izolację akustyczną podłóg pływających w dwóch pomieszczeniach zastosowano różne materiały. W jednym był to styropian o grubości 27 mm w dwóch warstwach o deklarowanej sztywności dynamicznej jednej warstwy 30 MN/m<sup>3</sup>, a w drugim – wełna skalna grubości 50 mm o deklarowanej sztywności dynamicznej 15 MN/m<sup>3</sup>. W obu badanych przypadkach na izolacji akustycznej została wykonana warstwa dociskowa w postaci wylewki cementowej grubości 70 ÷ 80 mm. Trzeci etap badań dotyczył pomiarów izolacyjności akustycznej stropu żelbetowego z izolacją termiczną z lamelowej płyty ze skalnej wełny mineralnej grubości 20 cm przyklejonej do stropu żelbetowego za pomocą zaprawy klejącej, bez użycia łączników mechanicznych. Na czas pomiarów powierzchnia wełny mineralnej nie miała jeszcze warstwy wykończeniowej w postaci tynku mineralnego.

W drugim budynku pomiary zostały wykonane w przypadku dwóch rodzajów przegród. W pierwszej kolejności zmierzono izolacyjność pomiędzy dwoma lo-

kalami mieszkalnymi znajdującymi się na dwóch kondygnacjach w bezpośrednim sąsiedztwie. Konstrukcję przegrody stanowił monolityczny strop żelbetowy o grubości 22 cm, na którym ułożono podłogę pływającą z izolacją akustyczną z warstw styropianu akustycznego grubości 20 mm, styropianu podłogowego EPS grubości 30 mm oraz warstwy dociskowej w postaci wylewki cementowej grubości 50 mm. Drugi pomiar został przeprowadzony w przypadku stropu pomiędzy lokalem mieszkalnym a garażem podziemnym. Warstwy podłogi pływającej oraz grubość stropu żelbetowego były niemal identyczne jak w przypadku stropu z pierwszego pomiaru z jedyną różnicą – termoizolację stanowiła wełna lamelowa o grubości 20 cm ułożona od strony garażu podziemnego. Wełnę przymocowano za pomocą zaprawy klejącej bez użycia łączników mechanicznych, a jej powierzchnię wykończono tynkiem mineralnym.

W trzecim budynku przeprowadzono jeden pomiar izolacyjności akustycznej stropu pomiędzy garażem podziemnym a lokalem mieszkalnym. Na stropie grubości 25 cm wykonano podłogę pływającą składającą się z warstwy 30 mm styropianu akustycznego, twardego styropianu podłogowego grubości 30 mm i wylewki cementowej grubości 60 mm. Od strony garażu, jako ocieplenie, zastosowano wełnę mineralną o zaburzonem układzie włókien

grubości 10 cm, stosując suchy montaż. W żadnym z badanych pomieszczeń na powierzchni podłogi pływającej nie było jeszcze wierzchniej warstwy wykończeniowej.

## Pomiary

Pomiary izolacyjności akustycznej przegród wykonano przy użyciu mierników poziomu dźwięku klasy 1 skalibrowanych przed i po każdym pomiarze. Do zmierzenia czasu pogłosu wykorzystano metodę przy użyciu sygnału impulsowego (wystrzał z pistoletu hukowego). Pomieszczenia nadawcze wzbudzone były wielogłośnikowym źródłem dźwięku. Pomiar izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych wykonano zgodnie z wytycznymi podanymi w normie [4]. W pomieszczeniach nadawczym i odbiorczym pomiary izolacyjności akustycznej wykonywano, stosując zmienne pozycje głośnika i mikrofonów ruchomych. Jako pomieszczenie nadawcze wybrano przestrzeń garażu znajdującą się bezpośrednio pod badanymi lokalami mieszkalnymi. W przypadku każdego pomiaru izolacyjności ustalono dwie pozycje nadawcze głośnika oraz łącznie cztery ręcznie skanowane pozycje mikrofonów w pomieszczeniu odbiorczym. Czas uśredniania ruchomych pozycji mikrofonowych wynosił 30 s. Izolacyjność od dźwięków powietrznych wyrażono przez parametr  $R'_{A,1}$  wyznaczony zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie [5].

## Wyniki pomiarów

Zestawienie uzyskanych wyników pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych analizowanych przegród wraz z porównaniem z wymaganiami normy [3] przedstawiono w tabeli 2. Pomiary wykazały, iż uzyskana wartość izolacyjności  $R'_{A,1}$  niewykończonego stropu żelbetowego grubości 20 cm (przegroda 1\_A) nie spełnia wymagań normowych. Po zastosowaniu podłogi pływającej (przegrody 1\_B-S, 1\_B-W) nastąpiło zwiększenie izolacyjności akustycznej przegrody o 5 dB, zapewniając spełnienie wymagań normowych. Obydwa rozwiązania materiałowe izolacji akustycznej podłogi pływającej, tj. ze styropianem akustycznym i wełną mineralną, dały ten sam przyrost wartości wskaźnika  $R'_{A,1}$ . Wynika to z podobnej sztywności dynamicznej

**Tabela 2. Wyniki pomiarów izolacyjności od dźwięków powietrznych wraz z wymaganiami normy PN-B-02151-3:2015-10 [3]**
*Table 2. Airborne sound insulation results together with the requirements of the PN-B-02151-3:2015-10 standard [3]*

Oznaczenie przegrody	Rodzaj przegrody	Zmierzona wartość wskaźnika $R'_{A1}$ [dB]	Wymagana wartość wskaźnika $R'_{A1}$ [dB] [3]	Różnica izolacyjności akustycznej w stosunku do wymagania	Spełnienie wymagań normowych przez przegrodę
1_A	Strop żelbetowy	56	$\geq 58$	-2	NIE
1_B-S	Strop żelbetowy + podłoga pływająca	61	$\geq 58$	+3	TAK
1_B-W	Strop żelbetowy + podłoga pływająca	61	$\geq 58$	+3	TAK
1_C-W	Strop żelbetowy + podłoga pływająca + termoizolacja	57	$\geq 58$	-1	NIE
2_A	Strop żelbetowy + podłoga pływająca	61	$\geq 58$	+3	TAK
2_B	Strop żelbetowy + podłoga pływająca + termoizolacja	52	$\geq 58$	-6	NIE
3_A	Strop żelbetowy + podłoga pływająca + termoizolacja	61	$\geq 58$	+3	TAK

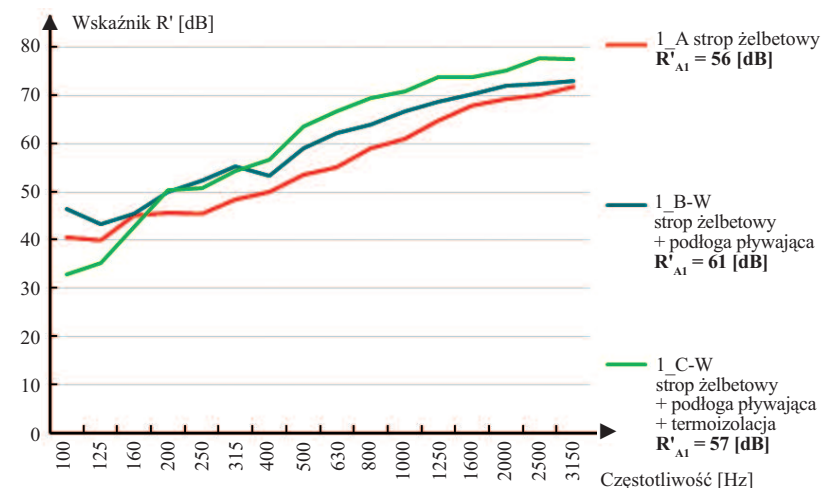
wymienionych materiałów oraz rodzaju i grubości wierzchniej warstwy dociskowej. Przegroda 2\_A również uzyskała izolacyjność od dźwięków powietrznych  $R'_{A1} = 61$  dB. Ze względu na inną grubość stropu, tj. 22 cm, oraz innych warstw podłogowych nie można jednoznacznie stwierdzić, jaki otrzymano rzeczywisty przyrost izolacyjności akustycznej przegrody dzięki wykonaniu podłogi pływającej. Nie zmienia to jednak faktu, iż wszystkie przebadane układy typu „strop + podłoga pływająca” spełniały wymagania normowe.

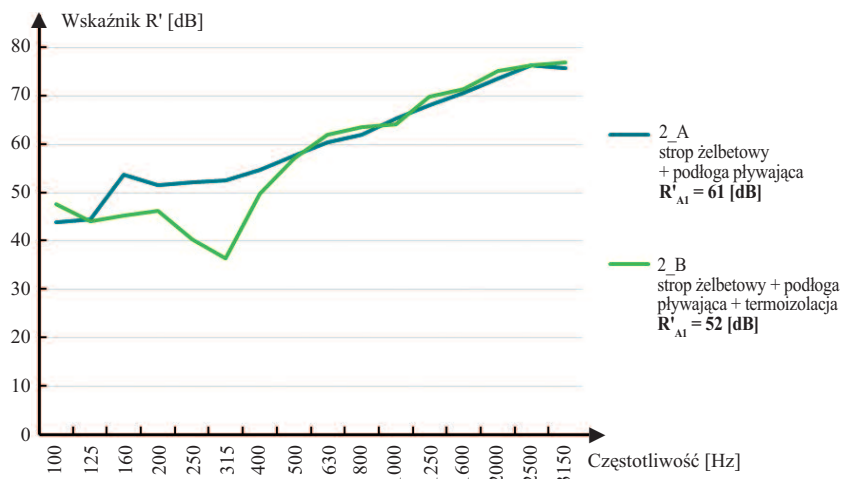
W przypadku przegród docieplanych lamelową wełną mineralną (przegrody 1\_C-W, 2\_B) można zaobserwować znaczne zmniejszenie uzyskanych wartości izolacyjności akustycznej. W przypadku przegrody 1\_C-W zmniejszyła się o 4 dB do wartości  $R'_{A1} = 57$  dB, co spowodowało, iż przegroda nie spełniła wymagań normowych. W przypadku przegrody 2\_B spadek izolacyjności akustycznej był jeszcze większy i względem stropu bez ocieplenia wyniósł aż -9 dB. Otrzymana ostatecznie wartość wskaźnika  $R'_{A1}$  równa 52 dB znacznie odbiega od wymaganych 58 dB. Przegroda 3\_A, gdzie jako ocieplenie zastosowano wełnę o zaburzonym układzie włókien zamiast wełny lamelowej, uzyskała wynik  $R'_{A1} = 61$  dB. Osiągnięta duża wartość może wskazywać, iż tego typu ocieplenie nie spowodowało aż takiego spadku izolacyjności akustycznej przegrody, jak w przypadku wymienionych wcześniej przegród.

Porównując wykresy w funkcji częstotliwości, można dokładniej określić wpływ podłogi pływającej i termoizolacji na izolacyjność akustyczną przegród. Przedstawione na rysunku 1 wyniki uzyskane w przypadku stropu w pierwszym badanym budynku pokazują, jak zmieniała się izolacyjność na różnych etapach wykończenia przegrody. Podłoga pływająca zwiększyła izolacyjność we wszystkich istotnych pasmach częstotliwości. Pomimo stosunkowo niewielkich różnic w kolejnych pasmach, całościowo powoduje to dość wyraźny przyrost wskaźnika  $R'_{A1}$ . Dodanie ocieplenia w postaci lamelowej wełny mineralnej sprawia, że pomimo ponownego niewielkiego zwiększenia izolacyjności w szerokim zakresie pasm częstotliwości

315 ÷ 3150 Hz obserwujemy znaczny spadek wskaźnika  $R'$  w przedziale 100 ÷ 200 Hz. Jest to związane z częstotliwością rezonansową wełny lamelowej, co finalnie powoduje znaczne zmniejszenie wartości jednoliczbowego wskaźnika  $R'_{A1}$ . Podobne zależności można zaobserwować na rysunku 2, gdzie przedstawiono wyniki badanych stropów w drugim budynku. Ponownie zastosowanie lamelowej wełny mineralnej od strony garażu podziemnego wykazało zmniejszenie wskaźnika izolacyjności akustycznej. Spowodowany zjawiskami rezonansowymi w obszarze wełny spadek izolacyjności akustycznej w pasmach 125 ÷ 500 Hz sprawia, że ostatecznie jednoliczbowy wskaźnik izolacyjności  $R'_{A1}$  wynosi zaledwie 52 dB. Warto zwrócić uwagę, że w porównaniu z pomiarem 1\_C-W przedział częstotliwości, w których obserwujemy spadek, uległ przesunięciu w kierunku średniej częstotliwości. Może to tłumaczyć różne wartości w spadku izolacyjności na skutek dodatkowego docieplenia. Rozbieżność w zarejestrowanym spadku pomiędzy pomiarami 1\_C-W i 2\_B (odpowiednio  $\Delta R'_{A1} = -4$  dB i  $\Delta R'_{A1} = -9$  dB) może wynikać z różnej grubości warstwy konstrukcyjnej stropu żelbetowego, różnego wykończenia od strony garażu i geometrii badanych budynków.

Wykres w przypadku trzeciej przegrody z zamocowaną od strony garażu termoizolacją z wełny o zaburzonym układzie włókien przedstawiono na rysunku 3 na tle dwóch wcześniej analizowa-


**Rys. 1. Porównanie wyników pomiarów izolacyjności akustycznej trzech rodzajów przegród: 1\_A; 1\_B-W; 1\_C-W**
*Fig. 1. Measurements results comparison of acoustic insulation for three types of partitions: 1\_A; 1\_B-; 1\_C-W*

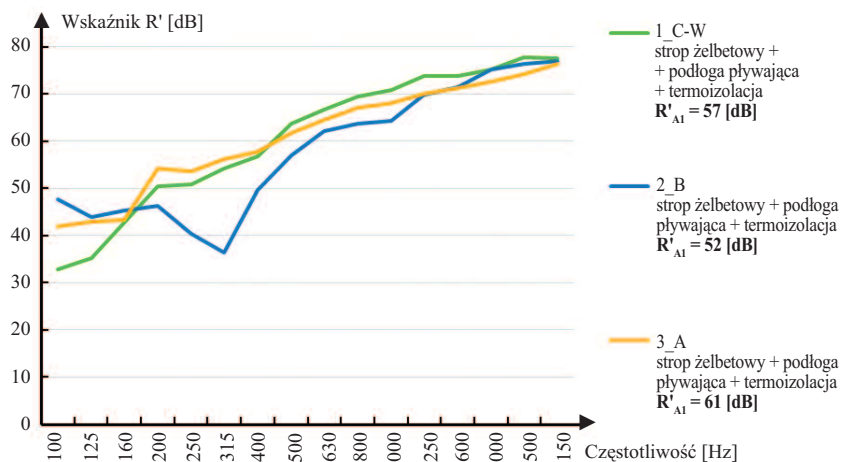


Rys. 2. Porównanie wyników pomiarów izolacyjności akustycznej dwóch rodzajów przegród: 2\_A, 2\_B

Fig. 2. Measurements results comparison of acoustic insulation for two types of partitions: 2\_A, 2\_B

nych stropów 1\_C-W i 2\_B z termoizolacją z wełny lamelowej. Można zauważyć, iż przegroda 3\_A nie wykazuje cech występowania dużych zjawisk rezonansowych lub występują one poza pasmami częstotliwości analizowanymi w akustyce budowlanej.

dużą wytrzymałością na rozciąganie oraz odpornością ogniową, dlatego jest chętnie wykorzystywana jako materiał do ocieplenia garaży, parkingów, piwnic i pomieszczeń technicznych. Montuje się ją do podłoża wyłącznie za pomocą zaprawy klejącej, bez dodatkowych łącz-



Rys. 3. Porównanie wyników pomiarów izolacyjności akustycznej przegród: 1\_C-W; 2\_B; 3\_A

Fig. 3. Measurements results comparison of acoustic insulation for partitions: 1\_C-W; 2\_B; 3\_A

## Podsumowanie

Przedstawione wyniki pomiarów wykazały, że po wykonaniu na badanej przegrodzie podłogi pływającej, izolacyjność od dźwięków powietrznych zwiększyła się o 5 dB. Niezależnie czy jako rozwiązanie materiałowe izolacji akustycznej zastosowany został styropian akustyczny, czy wełna mineralna, przegroda charakteryzowała się takim samym przyrostem wartości wskaźnika  $R'_{A1}$ .

Wełna lamelowa ze względu na sposób ułożenia włókien charakteryzuje się

dużą wytrzymałością na rozciąganie oraz odpornością ogniową, dlatego jest chętnie wykorzystywana jako materiał do ocieplenia garaży, parkingów, piwnic i pomieszczeń technicznych. Montuje się ją do podłoża wyłącznie za pomocą zaprawy klejącej, bez dodatkowych łącz-

ników. Cechy te, będące z jednej strony dużymi zaletami, stają się głównym powodem jej negatywnego wpływu na izolacyjność akustyczną od dźwięków powietrznych ocieplanego stropu. Zastosowanie pod omawianymi stropami warstw dociepleniowych z lamelowej wełny mineralnej spowodowało zmniejszenie izolacyjności akustycznej układu „strop + podłoga pływająca” o 4 – 9 dB i nawet zamontowanie dodatkowej warstwy podłogi pływającej nie pozwoliło na spełnienie wymagań normowych  $R'_{A1} \geq 58$  dB.

Rozwiązanie materiałowe ocieplenia stropu 3\_A w postaci szklanej wełny mineralnej o zaburzonej układzie włókien, montowanej na sucho za pomocą wkrętów lub kołków, okazało się w tym przypadku rozwiązaniem spełniającym wymagania akustyczne. Wykres izolacyjności akustycznej nie wykazał występowania zjawisk rezonansowych w analizowanych pasmach częstotliwości. Jednak brak wyników pomiarów dla tego stropu bez ocieplenia uniemożliwia dokładną analizę wpływu wełny o zaburzonej układzie włókien na charakterystykę izolacyjności akustycznej stropu.

Wpływ ocieplenia na izolacyjność akustyczną przegród w literaturze rozpatrywany jest głównie w kontekście przegród zewnętrznych [6 ÷ 8]. Analizy prezentowane w artykule pokazują, że również w przypadku przegród wewnętrznych, tj. stropów między lokalami mieszkalnymi, a garażem, należy uwzględnić ocieplenie przegrody na etapie projektowania jej izolacyjności akustycznej. Warto zwrócić uwagę, że jest ono istotne nie tylko w przypadku izolacyjności akustycznej ścian, ale także stropów, a rozwiązania konstrukcyjne i materiałowe będą miały decydujący wpływ na parametry osiągnięte przez przegrody.

## Literatura

- [1] Michalak H. Wybrane zagadnienia kształtowania konstrukcyjno-przestrzennego wielokondygnacyjnych garaży podziemnych w strefach śródmiejskich. *Górnictwo i Geoinżynieria*. 2009; 33, z. 3/1: 257 – 266.
- [2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (z późniejszymi zmianami).
- [3] PN-B-02151-3:2015-10 Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych.
- [4] PN-EN ISO 16283-1:2014-05 Akustyka – Pomiarzy terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [5] PN-EN ISO 717-1:2013 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.
- [6] Dulak L. Wpływ ocieplenia na izolacyjność akustyczną ściany zewnętrznej. *Materiały Budowlane*. 2012.
- [7] Nurzyński J. Ochrona przed hałasem w zrównoważonym budownictwie. *Prace naukowe ITB, Warszawa* 2013.
- [8] Żebala K, Zastawna-Rumin A, Kłosak A, Dulak L. Relacje pomiędzy izolacyjnością akustyczną a izolacyjnością termiczną ścian jedno- i wielowarstwowych. *Czasopismo Techniczne*. 2012; 2-B: 471 – 481.

## Podziękowania

Autorzy dziękują firmie archAKUSTIK oraz SzA Pracowni Akustycznej za udostępnienie wyników pomiarów.

Przyjęto do druku: 29.07.2022 r.