

ANALIZA AKUSTYCZNA STROPÓW DREWNIANYCH W TECHNOLOGII MODUŁÓW PREFABRYKOWANYCH

Emilia POGORZELSKA*

Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45A, 15-351 Białystok

Streszczenie: Artykuł dotyczy izolacyjności akustycznej stropu drewnianego wykonanego w technologii modułów prefabrykowanych. Przeprowadzono badania terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych stropu w trzech wariantach materiałowych: z zastosowaniem dwóch typów podkładek elastomerowych oraz przy braku podkładek akustycznych. Celem badań był wybór rozwiązania najbardziej korzystnego pod względem izolacyjności akustycznej. Do przeprowadzenia badań terenowych zastosowano metody określone w polskich normach. Otrzymane wartości wskaźników jednolicebnych izolacyjności akustycznej porównano z wartościami granicznymi określonymi w normach norweskich (docelowy kraj montażu budynku). Wyniki analiz wskazały na poprawę warunków akustycznych w przypadku braku zastosowania w konstrukcji stropu tłumiących podkładek elastomerowych.

Słowa kluczowe: izolacyjność akustyczna stropów, budynki drewniane modułowe.

1. Wprowadzenie

Klimat akustyczny wewnątrz, który oznacza szereg uwarunkowań dźwiękowych występujących w pomieszczeniach, z biegiem lat staje się coraz bardziej istotnym elementem wpływającym na komfort mieszkańców. Ma na to wpływ rosnąca świadomość ludzi na temat wymagań akustycznych, spowodowana narastającym i wszechobecnym hałasem docierającym do mieszkań. Wraz ze wzrostem cen lokali, rosną również wymagania klientów – przyszłych użytkowników, którzy poza trwałością konstrukcji oczekują komfortu przebywania w mieszkaniu.

Kształtowanie odpowiednich warunków akustycznych jest niezwykle ważne nie tylko ze względów zdrowotnych, lecz również stanowi wyzwanie w obliczu idei zrównoważonego rozwoju budownictwa. Zrównoważony rozwój zakłada tanie i szybko dostępne budownictwo mieszkaniowe, które realizowane jest poprzez stosowanie lekkich konstrukcji i lekkich elementów, umożliwiających zastosowanie zmian w zależności od potrzeb użytkowników. Tego typu indywidualne rozwiązania, są pod względem akustycznym znacznie trudniejsze, od stosowanych w budynkach masywnych. Lekkie połączenia stają się miejscem powstawania trudnych do wyeliminowania mostków akustycznych. Większe znaczenie mają w tym przypadku szczegóły konstrukcyjne oraz właściwe wykonanie elementów.

Konstrukcje drewniane niejednokrotnie stają się „wyzwaniem” dla projektantów pod względem zapewnienia wymaganych warunków akustycznych.

Jest to spowodowane charakterystyczną sztywnością materiału jakim jest drewno oraz ciągłą jego pracą w obiekcie. Konieczne jest precyzyjne wykonanie każdego elementu oraz właściwy dobór materiałów dźwiękoizolacyjnych, aby ustrzec strop drewniany przed skrzypieniem, dudnieniem czy nadmiernym przenoszeniem hałasów bytowych, na które bardzo często uskarżają się mieszkańcy domów drewnianych. Wyniki badań izolacyjności akustycznej przegród budynków drewnianych są obszernie opisane w publikacji Nitki (2013). Autor przedstawia różnorodne warianty budowy przegród o konstrukcji szkieletu drewnianego oraz odpowiadające im parametry izolacyjności dźwiękowej.

Stosunkowo nową technologią budownictwa drewnianego, jest budowa prefabrykowanych konstrukcji modułowych. Jest to system stosowany głównie w krajach skandynawskich, jednak „fabryki domów” z drewna znajdują się też w Polsce. W jednej z takich firm przeprowadzono analizę rozwiązań materiałowych stropu międzykondygnacyjnego oraz stropu ostatniej kondygnacji, pełniącego funkcję tarasu. Firma realizuje swoje obiekty mieszkalne głównie na rynku skandynawskim. Z tego względu ważne jest spełnienie przez przegrody przede wszystkim wymagań akustycznych stawianych w docelowym miejscu montażu konstrukcji, obecnie głównie w Norwegii (Pogorzelska, 2015).

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: emilia.pogorzelska72@gmail.com

2. Stropy drewniane o konstrukcji modułowej

2.1. Strop pomiędzy mieszkaniami

Wspomniane moduły składają się z paneli wytwarzanych w hali przemysłowej przez nowoczesne maszyny sterowane komputerowo. Panelami są prefabrykowane ściany, stropy oraz dachy, z wbudowaną stolarką okienną i drzwiową, wykończoną elewacją oraz wnętrzem przygotowanym pod malowanie lub tapetowanie. Wymiary pojedynczego modułu dochodzą do 14 m długości i 4,2 m szerokości, mogą więc tworzyć pojedyncze mieszkanie. Wykończenie wewnętrzne modułu w hali produkcyjnej zależy od preferencji zamawiającego, możliwe jest też wykończenie „pod klucz” z meblami łazienkowymi, kuchennymi i oświetleniem.

Konstrukcja przegród, a więc i stropów, opiera się na szkieletie drewnianym wypełnionym wełną mineralną. Szczegół połączenia modułów przy ścianie zewnętrznej wraz z opisem budowy stropu przedstawia rysunek 1.

Przekrój stropu (rys. 1) złożony jest z dwóch części: górna część należy do stropu dolnego i podłogi modułu wyższej kondygnacji, zaś dolna część przekroju opisuje układ warstw sufitowych oraz stropu górnego kondygnacji niższej. Konstrukcję nośną części górnej tworzą belki drewniane o przekroju teowym i wysokości 300 mm. W części dolnej funkcję tę pełnią belki o przekroju prostokątnym o wysokości 150 mm, w rozstawie co 450 mm. Przestrzeń między belkami oraz pomiędzy modułami wypełnia wełna mineralna o łącznej grubości 530 mm. Cały strop ma wysokość około 700 mm w zależności od zastosowanej konstrukcji podłogowej, która jest różna dla pomieszczeń „mokrych”, takich jak kuchnie i łazienki. Różnica ta wynika z konieczności zastosowania w tych pomieszczeniach płytek ceramicznych jako wierzchniej warstwy podłogowej,

ułożonych na warstwie kleju oraz odizolowanych folią PE od płyt drewnopochodnych. W pomieszczeniach „suchych” (salon, sypialnia) na płytach Fermacell (gipsowo-włóknowych) układana jest bezpośrednio wierzchnia warstwa – panele lub parkiet.

Na rysunku 1 oznaczono miejsce występowania podkładki akustycznej na połączeniu modułu dolnego i górnego. W ramach badań izolacyjności akustycznej stropu, w miejsce podkładki zastosowano dwa rodzaje podkładki elastomerowej oraz jako trzeci wariant – strop bez podkładki akustycznej.

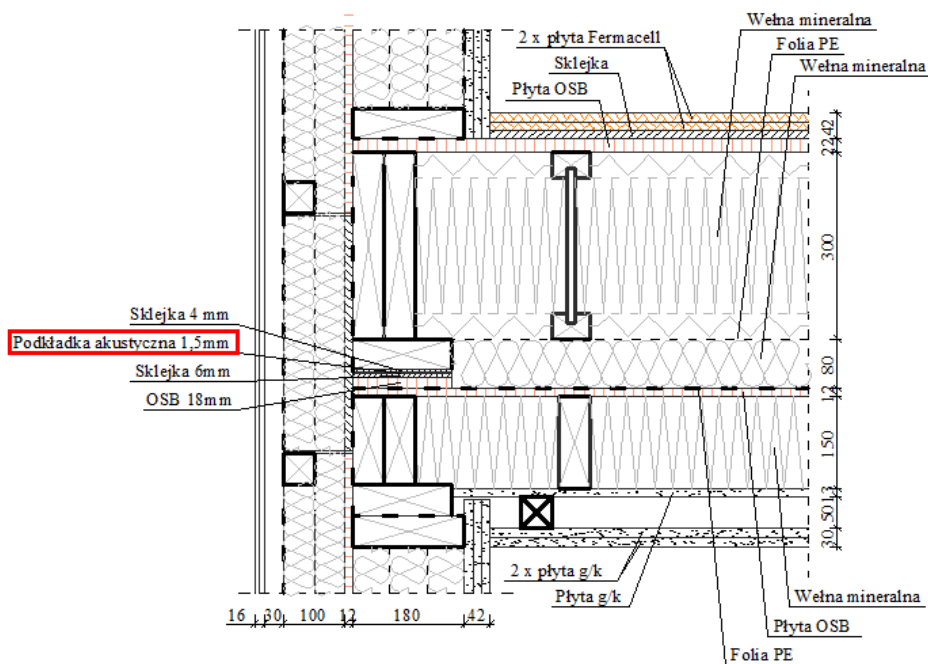
2.2. Poddane badaniom podkładki akustyczne

Pierwszy wariant materiałowy stropu drewnianego poddane badaniom izolacyjności akustycznej, przewiduje zastosowanie przekładki tłumiącej dźwięki. W badaniach wykorzystano przekładkę elastomerową typu SD produkowaną przez BETOMAX Polska SA.

Jest to niezbrojona, jednorodna podkładka profilowana, przeznaczona głównie do elementów prefabrykowanych oraz izolacji akustycznej biegów schodowych, podestów, łączników oraz pomostów łączących. Produkowana jest w formie ryflowanych pasów i dostarczana na budowę w rolkach, które pokazane są na rysunku 2.



Rys. 2. Podkładka Typu SD: a) ryflowane pasy, b) zwoje



Rys. 1. Szczegół połączenia modułów

Rolki mają standardową długość 10 mb i szerokość 200 mm. Posiadają nacięcia, które umożliwiają odrywanie pasów o szerokości 50, 100 lub 150 mm, co znacznie ułatwia ułożenie podkładki.

Podkładka typu SD ogranicza przenoszenie dźwięków uderzeniowych pomiędzy elementami konstrukcyjnymi. Ze względu na swoją sprężystość, bardzo dobrze tłumi drgania w budynku. Dodatkową zaletą podkładki SD jest zdolność do przenoszenia obciążeń o wartości do 10 N/mm^2 oraz odkształceń nie przekraczających 4 mm (przy grubości przekładki równej 10 mm) lub 2 mm (dla przekładki grubości 5 mm). Przekładka chroni krawędzie materiałów, przy których jest wbudowana, przed uszkodzeniami (Karta produktu, 2014a).

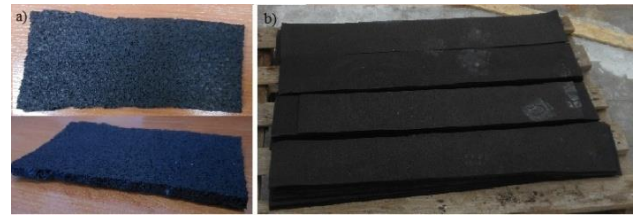
W drugim wariancie badań izolacyjności akustycznej stropu wykorzystano podkładkę elastomerową wyrównującą. Była to podkładka niezbrojona Typu R5, której producentem również jest BETOMAX Polska S.A.

Podkładka Typu R5 wykonana jest z elastomeru, czyli kompozytu poliuretanowo-gumowego z obiema powierzchniami gładkimi. Może być stosowana w miejscach nie narażonych na wpływ warunków pogodowych oraz promieni nadfioletowych. Ten typ przeznaczony jest do stosowania w konstrukcjach prefabrykowanych, gdzie nie występują procesy mokre. Główną funkcją podkładki jest wyrównanie powierzchni oraz przeniesienie obciążeń pod belkami, stropami, podciągami, dźwigarami i innymi elementami wymagającymi elastycznego podparcia, ułożonego w linii ciągłej lub punktowo. Znajdują one zastosowanie w budynkach budownictwa ogólnego oraz konstrukcjach przemysłowych (Karta produktu, 2014b).

Podkładki wytwarzane są w kształcie płytek kwadratowych, prostokątnych lub okrągłych z otworami lub bez. Możliwe jest również wykonanie podkładek liniowych. Dostępne są cztery ich grubości: 5 mm, 10 mm, 15 mm i 20 mm.

W badaniach wykorzystano pasma podkładki o grubości 5 mm, szerokości 18 cm oraz długości 1,00 m. Są one układane liniowo na obwodzie pomiędzy

modułami o konstrukcji drewnianej. Próbkę materiału oraz zastosowane pasma przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Podkładka elastomerowa Typu R5: a) próbka materiału, b) zastosowane pasma podkładki

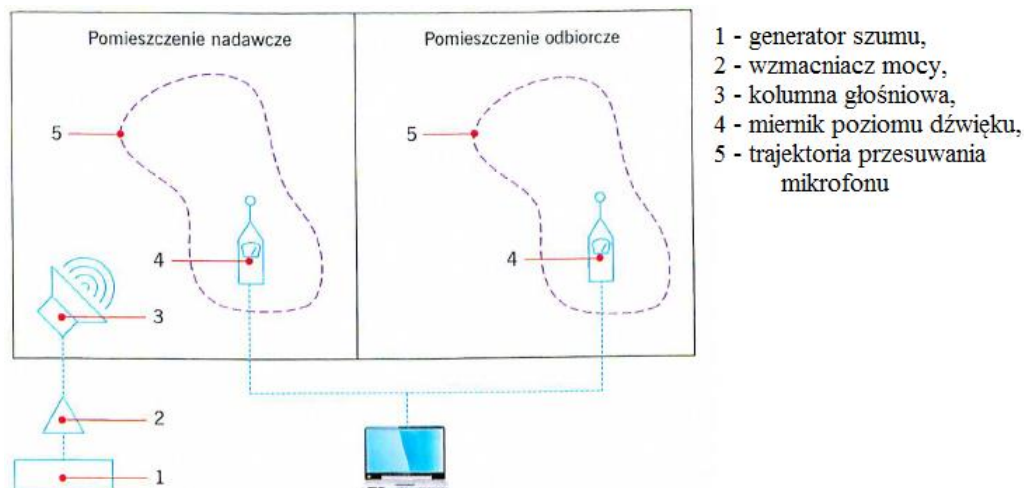
Producent podkładki elastomerowej Typu R5 nie przedstawia parametrów jej izolacyjności akustycznej oraz wpływu na ograniczenie przenoszenia dźwięków w pomieszczeniach. Element ten zastosowano w stropie ze względów konstrukcyjnych.

Trzecim wariantem badań stropu międzykondygnacyjnego była konstrukcja bez podkładki akustycznej. Zdecydowano o zbadaniu izolacyjności dźwiękowej stropu bez podkładek tłumiących w celach porównawczych oraz jako punkt odniesienia do pozostałych wariantów.

3. Opis przebiegu badań izolacyjności akustycznej

3.1. Badanie izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych

Procedurę przeprowadzania badań terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych reguluje norma PN-EN ISO 16283-1:2014-05 *Akustyka – Pomiarы terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych*. Schemat stanowiska pomiarowego przedstawiono obrazowo na rysunku 4.



Rys. 4. Układ pomiarowy przy pomiarach izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych (Gil, 2015)

Po wykonanych pomiarach dane z miernika przesyłane były do komputera. Obliczony został uśredniony poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym (L_1) oraz odbiorczym (L_2). Różnica między L_1 a L_2 , oznacza jaka część hałasu została pochłonięta przez przegrodę. Należy również uwzględnić pole powierzchni przegrody oraz warunki akustyczne w pomieszczeniu odbiorczym, co pozwoli na dokładne określenie wyniku badań. W badaniach terenowych, w przeciwieństwie do badań laboratoryjnych, nie jest możliwe wyeliminowanie przenoszenia bocznego dźwięków, dlatego pozwalają one na określenie izolacyjności akustycznej właściwej przybliżonej R'_w , obliczanej zgodnie ze wzorem podanym w pozycji (Budownictwo ogólne, 2008):

$$R'_w = L_1 - L_2 + \frac{10 \lg S}{A} \quad (1)$$

gdzie: S jest powierzchnią przegrody w m^2 , a A jest równoważnym polem powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia po stronie odbiorczej w m^2 .

3.2. Badanie izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych

Procedurę badań terenowych izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych reguluje norma PN-EN ISO 140-7:2000 *Akustyka – Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Pomiar terenowy izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów*.

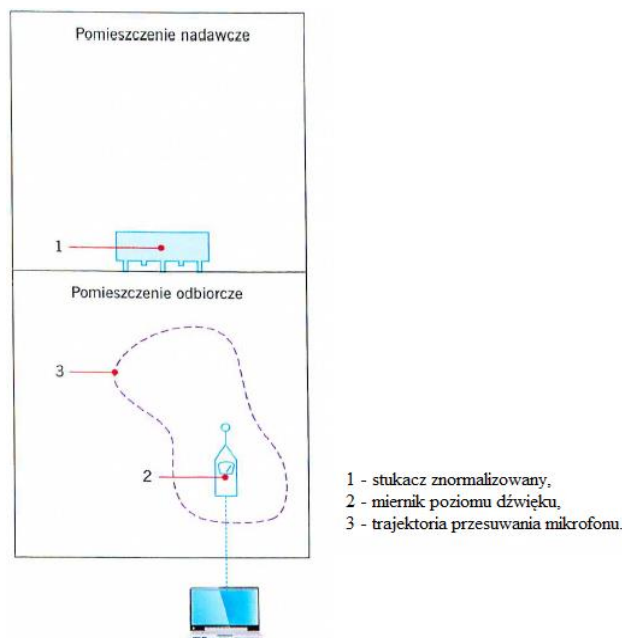
Badanie to polega na pomiarze poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym podczas pracy znormalizowanego stukacza. Stukacz wyposażony jest w pięć odważników, które uderzając kolejno o przegrodę z ustaloną prędkością, wywołują energię akustyczną wchodzącą bezpośrednio w strop, dlatego poziom dźwięku w pomieszczeniu nadawczym nie odgrywa ważnej roli. Ważne jest, aby podczas badania stropów drewnianych, stukacz ustawić pod kątem 45° do kierunku ułożenia belek, aby uniknąć zjawiska rezonansu (Gil, 2015; PN-EN ISO 140-7:2000). Schemat układu pomiarowego przedstawiono na rysunku 5.

Wynikiem pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych jest znormalizowany poziom uderzeniowy $L'_{n,w}$ wyrażany wzorem (Budownictwo ogólne, 2008):

$$L'_{n,w} = L_i + \frac{10 \lg A}{A_0} \quad (2)$$

gdzie: L_i jest poziomem średniego ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktaowych w pomieszczeniu odbiorczym w dB, A jest równoważnym polem powierzchni dźwiękochłonnej pomieszczenia po stronie odbiorczej, w m^2 , a A_0 jest polem powierzchni dźwiękochłonnej odniesienia, przyjmuje się $A_0 = 10 m^2$.

Otrzymane wartości dla częstotliwości pomiarowych 100-3150 Hz powinny być podane z dokładnością do jednego miejsca po przecinku.



Rys. 5. Schemat układu pomiarowego do badania izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych (Gil, 2015)

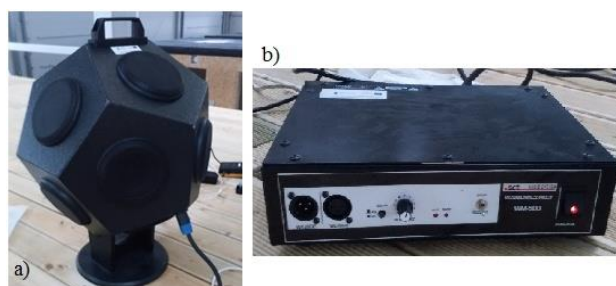
3.3. Sprzęt pomiarowy

Do przeprowadzenia pomiarów izolacyjności akustycznej wykorzystano całkujący miernik poziomu dźwięku DSA-50. Zaś jako źródło hałasu w czasie pomiarów zastosowano:

- generator szumu i wzmacniacz mocy,
- głośniki nadawcze,
- stukacz normowy.

Głośniki nadawcze

Jako źródło dźwięku w badaniach izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych zastosowano głośnik o kształcie dwunastościanu foremnego wraz z zasilaczem i wzmacniaczem mocy, które przedstawiono na rysunku 6. Przed przystąpieniem do pomiarów, wskazane jest zbadanie kierunkowości źródła dźwięku. W tym celu należy dokonać pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w odległości około 1,5 m od źródła, w polu swobodnym. Głośnik dwunastościanowy zapewnia najlepsze wszechkierunkowe rozprzestrzenianie się dźwięku, jak nakazuje norma PN-EN ISO 16283-1:2014-05.



Rys. 6. Źródło hałasu w badaniach izolacyjności od dźwięków powietrznych: a) głośnik dwunastościanowy, b) generator szumu i zasilacz mocy

Stukacz normowy

Stukacz znormalizowany, stosowany jako źródło hałasu w czasie badania izolacyjności akustycznej stropów od dźwięków uderzeniowych, powinien posiadać pięć młotów usytuowanych w jednej linii. Każdy młot powinien mieć wagę 500 g. Młotki spadają swobodnie z wysokości 40mm z prędkością 0,033 m/s w kierunku prostopadłym do badanej powierzchni z dopuszczalną odchyłką $\pm 0,5^\circ$. Stukacz znormalizowany wykorzystany w badaniach stropów drewnianych przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Kalibracja stukacza znormalizowanego

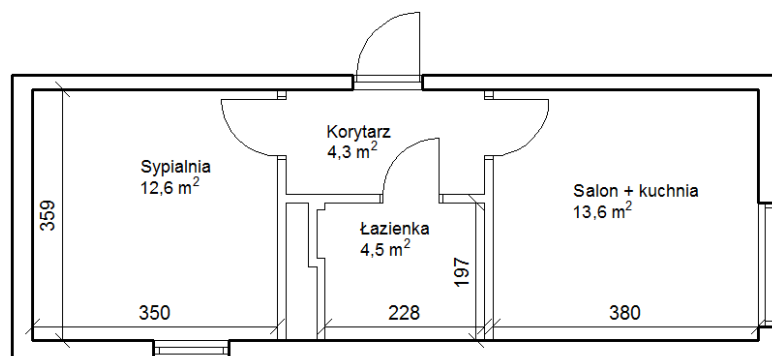
Urządzenie jest przystosowane do sterowania radiowego. Przed rozpoczęciem pomiaru, po włączeniu stukacza należy dokonać jego kalibracji za pomocą tachometru poprzez unormowanie prędkości poruszania się wału napędzającego uderzenia młotka, która powinna być równa 120 obrotów/min. Czynność tę przedstawiono na rysunku 7.

Opisane urządzenia do wytworzenia hałasu oraz jego pomiarów zostały wykorzystane podczas badań terenowych izolacyjności akustycznej stropów drewnianych od dźwięków powietrznych i uderzeniowych.

3.4. Pomiary terenowe

Modułowa konstrukcja budynków umożliwia wykonanie pomiarów izolacyjności akustycznej stropu jedynie na dwóch segmentach, wchodzących w skład obiektu. W celu wskazania materiału zapewniającego najlepszą ochronę przeciwdźwiękową spośród zaproponowanych wariantów, nie jest konieczne przeprowadzanie badań w zmontowanym budynku wielorodzinnym, gdyż budowa stropu jest powtarzalna w każdym segmencie. Powtarzalność ta jest zapewniona przez wysoki stopień prefabrykacji przegród.

Badanie stropu międzykondygnacyjnego przedstawionego na rysunku 1 zostało wykonane na modułach o układzie pomieszczeń jak na rysunku 8. Moduły ustawiono jeden na drugim, tak by tworzyły pełną konstrukcję stropu. Na rysunku 9 zaprezentowano ustawienie modułów podczas przeprowadzania badań izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych.



Rys. 8. Schemat modułu poddanego badaniom – strop I



Rys. 9. Ustawienie modułów podczas badania izolacyjności akustycznej stropu I

Jako pomieszczenie nadawcze przy badaniach izolacyjności od dźwięków powietrznych wybrano salon z aneksem kuchennym o powierzchni 13,6 m². Źródło dźwięku umieszczono w module usytuowanym poniżej. Głośnik ustawiono na podwyższeniu, aby zapewnić lepsze rozproszenie dźwięku. Pomieszczeniem odbiorczym był salon o takiej samej powierzchni w module górnym. Salon górnego modułu jest również miejscem, w którym ustawiono stukacz, podczas badań izolacyjności od dźwięków uderzeniowych.

4. Wyniki przeprowadzonych badań izolacyjności akustycznej

Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych należy odnieść do klasyfikacji akustycznej budynków obowiązującej w Norwegii, jako kraju docelowego montażu budynku modułowego. Klasyfikacja ta zawarta jest w normie norweskiej NS 8175:2008. Opis klas akustycznych według tej normy jest następujący:

- klasa A – odpowiada szczególnie dobremu warunkom, w których użytkownicy wyjątkowo narażenia są na hałas i inne dźwięki;
- klasa B – odpowiada wyraźnie lepszym warunkom akustycznym niż dla minimalnych granic klasy C, uznawana jest za dobry standard akustyczny;

użytkownicy mogą być narażeni na dźwięki i hałas tylko w pewnym stopniu;

- klasa C – określa wartości graniczne dla nowych budynków, odpowiadające intencjom w zakresie minimalnych wymagań przepisów technicznych do ustawy TEK (1997); do 20% użytkowników może być narażonych na dźwięki i hałas w mieszkaniach;
- klasa D – określa wartości graniczne, gdzie duża część użytkowników może być narażona na dźwięki i hałas.

Tabela 1 przedstawia najniższe wartości izolacyjności od dźwięków powietrznych dla poszczególnych klas akustycznych w odniesieniu do budynków mieszkalnych wielorodzinnych, jednorodzinnych, szeregowych i innych połączonych ze sobą budynków mieszkalnych. Norma NS 8175:2008 zaleca również aby dyskoteki, dancingi, centra sportowe, itp., nie były lokalizowane w budynkach przeznaczonych jako mieszkalne. Izolacyjność dźwiękowa od dźwięków powietrznych wyrażona jest poprzez ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej R'_w .

Wartości graniczne w odniesieniu do hałasu uderzeniowego w budynkach mieszkalnych zawiera tabela 2. Izolacyjność wyrażona jest poprzez wskaźnik ważony poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$.

Wymagania TEK (1997), uważa się za spełnione jeżeli budynek odpowiada wartościom granicznym klasy C. Im lepsza klasa akustyczna budynku, tym warunki komfortu akustycznego są bardziej zadowalające.

Tab. 1. Klasy akustyczne dla mieszkań – najniższe wartości graniczne ważonego wskaźnika izolacyjności akustycznej R'_w (NS 8175:2008)

Rodzaj pomieszczenia użytkowego	Klasa A [dB]	Klasa B [dB]	Klasa C [dB]	Klasa D [dB]
Wzajemnie między mieszkaniami oraz między mieszkaniami a powierzchniami wspólnymi (korytarz/kryte przejście (galeria), klatka schodowa/schody itp.)	63	58	55	50
Między mieszkaniami i krytym przejściem (galerią), schodami zewnętrznymi, gdzie są pomieszczenia z oknami skierowanymi na nie bezpośrednio	53	48	45	40
Między mieszkaniami a działalnością handlowo-usługową, garażem itp.	68	63	60	55
Wzajemnie między pomieszczeniami w tym samym mieszkaniu (minimum do jednego pomieszczenia w jednostce mieszkalnej).	48	43	–	–

Tab. 2. Klasy akustyczne dla mieszkań – maksymalne wartości graniczne ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L'_{n,w}$ (NS 8175:2008)

Rodzaj pomieszczenia użytkowego	Klasa A [dB]	Klasa B [dB]	Klasa C [dB]	Klasa D [dB]
Między mieszkaniami; między mieszkaniami a powierzchniami wspólnymi (korytarz/kryte przejście (galeria), klatka schodowa/schody itp.)	43	48	53	58
Między mieszkaniem a działalnością handlowo-usługową, garażem, wspólnym tarasem na dachu, itp.	38	43	48	53
Między mieszkaniem a toaletą, łazienką, pomieszczeniem gospodarczym itp., jak również z balkonem itp. w innym mieszkaniu	48	53	58	63
Między pomieszczeniami wewnątrz mieszkania (minimum w jednym pomieszczeniu w jednostce mieszkalnej).	58	63	–	–

4.1. Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych

R'_w (C) = 55 dB oznacza minimalną wartość wskaźnika ważonego izolacyjności akustycznej, określoną w wymaganiach dla klasy C izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych przegród budynków, obowiązującej w Norwegii. W wyniku przeprowadzonych badań izolacyjności od dźwięków powietrznych otrzymano następujące wyniki dla danych wariantów przekładek akustycznych:

- wariant pierwszy – podkładka elastomerowa tłumiąca Typu SD: $R'_w = 66,0$ dB,
- wariant drugi – podkładka elastomerowa wyrównująca Typu R5: $R'_w = 66,0$ dB,
- wariant trzeci – brak podkładki akustycznej: $R'_w = 67,0$ dB.

Wszystkie badane warianty spełniają wymagania stawiane w Norwegii budynkom klasy C, która określa wartości graniczne dla nowych budynków. Spełniają nawet wymagania klas A, o najbardziej restrykcyjnych wymaganiach, w której wskaźnik R'_w , powinien być na poziomie 63dB.

4.2. Wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych

Uzyskaną wartość ważonego poziomu uderzeniowego $L'_{n,w}$ należy porównać z wymaganiami stawianymi klasie akustycznej C, obowiązującymi w Norwegii. Maksymalny wskaźnik $L'_{n,w}$ (klasa C) = 53 dB. W wyniku przeprowadzonych badań izolacyjności od dźwięków uderzeniowych otrzymano następujące wyniki dla danych wariantów przekładek akustycznych:

- wariant pierwszy – podkładka elastomerowa tłumiąca Typu SD: $L'_{n,w} = 48,0$ dB,
- wariant drugi – podkładka elastomerowa wyrównująca Typu R5: $L'_{n,w} = 49,0$ dB,
- wariant trzeci – brak podkładki akustycznej: $L'_{n,w} = 47,0$ dB.

Podobnie jak przy dźwiękach powietrznych, wszystkie badane warianty spełniają wymagania stawiane w Norwegii dla stropów w budynkach klasy C.

5. Wnioski

Przeprowadzone badania terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych i uderzeniowych stropu dały zbliżone wyniki we wszystkich wariantach budowy przegrody. W przypadku dźwięków powietrznych podkładki elastomerowe zapewniają izolacyjność

na poziomie $R'_w = 66,0$ dB. Lepszą ochronę od dźwięków powietrznych zapewni strop bez podkładki ($R'_w = 67,0$ dB). Wariant budowy stropu bez podkładki akustycznej jest też najlepszym rozwiązaniem ochrony od dźwięków uderzeniowych. Badania wykazały, że wariant ten charakteryzuje się poziomem uderzeniowym $L'_{n,w} = 47,0$ dB. Wynik ten jest o 2-4% korzystniejszy w porównaniu, do pozostałych rozwiązań stropu. Niższa izolacyjność akustyczna w konstrukcji z podkładkami elastomerowymi może być spowodowana zbyt dużym obciążeniem podkładek, przez co mogły one ulec deformacji i utraciły swoje właściwości izolacyjne. Wszystkie proponowane rozwiązania materiałowe spełniły wymagania akustyczne stawiane budynkom klasy C. Poddane badaniom podkładki elastomerowe nie dały jednak tak zadowalających wyników jak wariant stropu bez podkładki akustycznej.

Literatura

- Gil J. (2015) Izolacyjność akustyczna w budownictwie mieszkaniowym. Praktyczny poradnik. *GRUPA MEDIUM*, Warszawa.
- Karta produktu (2014a). Podkładka elastomerowa tłumiąca Typ SD. *BETOMAX Polska SA*.
- Karta produktu (2014b). Podkładka elastomerowa wyrównująca Typu R5. *BETOMAX Polska SA*.
- Budownictwo ogólne (2008). Tom 2. Fizyka budowli. Red. P. Klemm, *ARKADY*, Warszawa.
- Nitka W. (2013). Szkieletowy dom drewniany. *Centrum Budownictwa Drewnianego*, Gdańsk.
- NS 8175:2008. Acoustic conditions in buildings. Sound classification of various types of buildings. *Standard Norge*, Oslo.
- Pogorzelska E. (2015). Analiza akustyczna stropów drewnianych od dźwięków powietrznych i uderzeniowych. Praca dyplomowa magisterska, *Politechnika Białostocka*, Białystok.
- TEK (1997). Ustawa o planowaniu przestrzennym i budownictwie. Norwegia.

SOUND ANALYSIS OF WOODEN FLOORS MADE IN PREFABRICATED MODULAR TECHNOLOGY

Abstract: The aim of this article is to analyze the solutions of wooden ceilings in terms of changing sound insulation materials. Field research was conducted on floors in buildings made in wooden frame modular technology. To carry out field research the methods defined in the Polish Standards were used. The results of the analysis showed improved acoustic conditions in floors without any acoustic pads in comparison to constructions with elastomeric insulation.