

dr inż. Marek Jabłoński¹⁾

ORCID: 0000-0001-5865-868X

dr hab. inż. Marcin Koniorczyk, prof. PŁ^{1)*}

ORCID: 0000-0002-6887-4324

Wpływ zmienności wybranych właściwości materiałów na parametry akustyczne układu stropowego z podłogą pływającą pod kątem dźwięków uderzeniowych

The influence of selected materials parameters uncertainty on the impact sound insulation properties of the slab with the resilient layer

DOI: 10.15199/33.2021.08.01

Streszczenie. Artykuł dotyczy wpływu wybranych właściwości materiałów układu stropowego, tj. sztywności dynamicznej warstwy sprężystej o określonej grubości oraz gęstości betonu i jastrychu na zmienność parametrów opisujących izolacyjność akustyczną stropu pod kątem dźwięków uderzeniowych. Właściwości materiałów oraz parametry akustyczne układu stropowego są zmiennymi losowymi. Na podstawie danych literaturowych oraz pomiarów własnych wyznaczono rozkład sztywności dynamicznej płyty styropianu 33/30 mm oraz gęstości betonu o wskaźniku $w/c = 0,5$. Przeanalizowano istotność losowości poszczególnych zmiennych na parametry charakteryzujące izolacyjność akustyczną stropu. Wyniki przeprowadzonych analiz wskazują, że największy wpływ na niepewność parametrów opisujących izolacyjność akustyczną ma losowość sztywności dynamicznej warstwy sprężystej.

Słowa kluczowe: sztywność dynamiczna; izolacyjność akustyczna; poziom uderzeniowy; analiza statystyczna; dystrybuanta.

Abstract. The paper concerns the randomness of selected materials properties of the multilayered slab (i.e. dynamic stiffness of elastic layer, the density of concrete and screed) and its influence on the uncertainty of the acoustic performance considering the impact sounds. The material properties and acoustic properties of the slab are regarded as random field. The probabilistic distributions of the dynamic stiffness of the EPS T 33/30 mm and the density of concrete with water to cement ratio equal to 0,5 were determined based on the literature survey as well as our own laboratory tests. The importance of the single parameter randomness propagation on the uncertainty of acoustic performance of the slab was investigated. It was concluded that the randomness of insulation dynamic stiffness is of particular relevance.

Keywords: dynamic stiffness; sound insulation; impact sound level; statistical analysis; cumulative distribution function.

Jednym z istotnych zagadnień przy projektowaniu przegród budowlanych pod względem izolacyjności akustycznej jest dobór rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych zapewniających uzyskanie wymaganej izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami. Budynki należy projektować z zachowaniem obowiązujących norm i przepisów. Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej określone są w normie PN-B-02151-3:2015 [8]. Podane w niej wielkości, odnoszące się do właściwości akustycznych przegród w budynku, obejmują wszystkie drogi transmisji dźwięku występujące między pomieszczeniami rozdziel-

onymi przegrodą [12]. Właściwe zaprojektowanie budynku pod względem akustycznym wymaga więc identyfikacji tych dróg oraz rzetelnej informacji o parametrach technicznych (akustycznych) materiałów, z których projektuje się poszczególne przegrody [1]. Przyjęto, że gęstość płyty żelbetowej, gęstość jastrychu i sztywność dynamiczna płyt styropianowych oraz w konsekwencji parametry akustyczne stropu określające jego izolacyjność od dźwięków uderzeniowych (ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego oraz zmniejszenie poziomu uderzeniowego) są zmiennymi losowymi o odpowiednim rozkładzie prawdopodobieństwa. Przeanalizowano propagację losowości wybranych parametrów materiałów, tj. gęstości płyty żelbetowej i jastrychu oraz sztywności dynamicznej

płyt styropianowych na parametry akustyczne układu stropowego pod kątem dźwięków uderzeniowych.

Wymagania akustyczne dotyczące stropów

Właściwości akustyczne stropów rozpatruje się ze względu na izolacyjność od dźwięków powietrznych i uderzeniowych. **Izolacyjność akustyczna od dźwięków powietrznych** charakteryzuje odporność stropów na przenoszenie dźwięków powietrznych, czyli takich, które powstają i rozprzestrzeniają się w powietrzu. Do oceny przenikania dźwięków powietrznych przez stropy stosuje się podobne kryteria jak w przypadku ścian. Głównym z nich jest **wskaźnik przybliżonej izolacyjności akustycznej R'_{A1}** .

Izolacyjność akustyczna od dźwięków uderzeniowych charakteryzuje

¹⁾ Politechnika Łódzka; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*} Adres do korespondencji: marcin.koniorczyk@p.lodz.pl

właściwości akustyczne stropów w odniesieniu do przenikania przez nie energii akustycznej przy mechanicznym pobudzeniu do drgań podczas użytkowania (kroki, przesuwanie przedmiotów itp). Do oceny przenikania przez strop dźwięków uderzeniowych stosuje się **ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego** $L'_{n,w}$. Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej stropów w budynkach znajdują się w normie PN-B-02151-3:2015 [8].

Wartość izolacyjności akustycznej zależy od rodzaju budynku i przeznaczenia pomieszczeń rozdzielonych analizowaną przegrodą. W tabelach 1 i 2 przedstawiono wymagane wartości izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych oraz dopuszczalne poziomy dźwięków uderzeniowych wg PN-B-02151-3:2015 [8] w przypadku stropów w wielorodzinnym budynku mieszkalnym.

Tabela 1. Izolacyjność od dźwięków powietrznych przegród wewnętrznych w budynkach mieszkalnych

Table 1. Acoustic insulation of partitions in multi-residential houses

Rodzaj przegrody	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika [dB]
Strop między mieszkaniami	$R'_{A,1}$	≥ 51

Tabela 2. Dopuszczalny poziom dźwięków uderzeniowych przenikających do pomieszczeń chronionych w budynkach mieszkalnych

Table 2. Admissible reduction of impact sound pressure level for multi-residential houses

Wymaganie	Rodzaj wskaźnika	Wartość wskaźnika [dB]
Poziomy dźwięków uderzeniowych przenikających między mieszkaniami	$L'_{n,w}$	≤ 55

Izolacyjność akustyczna stropu

Izolacyjność akustyczną stropów można określić z największą dokładnością za pomocą pomiarów. Wykonuje się je, wyznaczając poziom ciśnienia akustycznego występującego po obu stronach przegrody w przypadku izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych lub poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym w przypadku dźwięków uderzeniowych. W wyniku badań przeprowadzanych w warunkach rzeczywistych wyznacza-

ne są odpowiednie parametry w przedziale częstotliwości 100 – 3150 Hz. **Poziomy uderzeniowy znormalizowany przybliżony** L'_n definiuje się **jednolicebowym wskaźnikiem ważonym** $L'_{n,w}$, określanym na podstawie charakterystyki danej wielkości w funkcji częstotliwości przez porównanie jej z krzywą wzorcową. Sposób wyznaczenia ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego podano w PN-EN ISO 717-2 [9].

W celu oceny przenoszenia dźwięków uderzeniowych przez stropy masywne bez podłóg wyznacza się **równoważny wskaźnik ważony znormalizowanego poziomu uderzeniowego** $L_{n,eq,0,w}$. Zmniejszenie poziomu uderzeniowego, wynikające z zastosowania podłogi na stropie wzorcowym, określa się ważonym wskaźnikiem zmniejszenia poziomu uderzeniowego ΔL_w . Wielkość tę wyznacza się metodą podaną w PN-EN ISO 717-2 [9] na podstawie charakterystyki ΔL w funkcji częstotliwości.

Na etapie projektowym wykonanie pomiarów jest niemożliwe, dlatego do prognozowania izolacyjności akustycznej stropów wykorzystuje się **modele teoretyczne**. Norma europejska PN-EN ISO 12354-2 [11] dopuszcza wyznaczanie danych akustycznych elementów na podstawie obliczeń teoretycznych lub pomiarów terenowych. Danymi wejściowymi są wtedy równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego stropu bez dodatkowych warstw $L_{n,eq,0,w}$ oraz ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego w wyniku zastosowania na stropie podłogi ΔL_w .

Wartość wskaźnika $L_{n,eq,0,w}$ zaleca się przyjmować na podstawie badań laboratoryjnych. W przypadku braku danych pomiarowych, w załączniku B normy PN-EN ISO 12354-2 [11] podano w przypadku jednorodnych stropów masywnych zależność opisującą równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego dla stropu bez dodatkowych warstw $L_{n,eq,0,w}$. Można go oszacować ze wzoru (1), wykorzystując zależność pomiędzy masą powierzchniową m' a odpowiednim wskaźnikiem jednolicebowym izolacyjności akustycznej określaną jako „prawo masy” (słuszną od 100 do 600 kg/m²) [1, 11].

$$L_{n,eq,0,w} = 164 - \left(35 \log \left(\frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right) \right) \quad (1)$$

Właściwości izolacyjne podłogi w zakresie dźwięków uderzeniowych charakteryzuje ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego podłogi ΔL_w , który zależy od masy powierzchniowej podłogi pływającej m'_p i sztywności dynamicznej s' warstwy sprężystej wyznaczonej zgodnie z PN-EN 29052-1 [10], mierzonej bez żadnego obciążenia wstępnego. W przypadku, gdy warstwę dociążającą stanowi warstwa jastrychu cementowego, wówczas wartość ΔL_w można oszacować ze wzoru (2), podanego w normie PN-EN ISO 12354-2 [11]:

$$\Delta L_w = 13 \cdot \log_{10}(m'_p) - 14,2 \cdot \log_{10}(s') + 20,8 \quad (2)$$

Dla całego układu obejmującego strop wraz z pływającą podłogą wartość ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ uzyskuje się jako różnicę ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego samego stropu $L_{n,eq,0,w}$ i ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego podłogi ΔL_w :

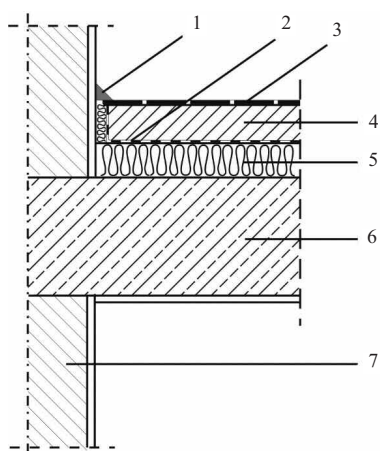
$$L_{n,w} = L_{n,eq,0,w} - \Delta L_w \quad (3)$$

Z podanych zależności wynika, że im mniejsza jest sztywność i większa masa na jednostkę powierzchni, tym lepsze parametry akustyczne. Nie uwzględnia się jednak faktu, że materiały użyte do wykonania stropu, warstwy dociążającej oraz warstwy sprężystej mogą mieć inne parametry niż podane przez producenta.

Izolacyjność akustyczna podłogi pływającej

Uzyskanie zalecanej przez normę [9] izolacyjności stropu od dźwięków uderzeniowych wymaga zawsze zastosowania na stropach podłóg z izolacją akustyczną (rysunek 1).

Pod względem konstrukcyjnym oraz akustycznym różni się podłogi pływające z masywną płytą dociskową, lekkie konstrukcje podłogowe oraz wkładziny elastyczne i dywanowe. Pływająca podłoga z masywną płytą dociskową składa się z elastycznej warstwy izolacyjnej oraz płyty dociskowej. Warstwa izolacyjna jest wykonywana zwykle ze styropianu elastycznego,



Rys. 1. Konstrukcja stropu z podłogą pływającą: 1 – listwa przyścienna; 2 – folia; 3 – posadzka; 4 – jastrych; 5 – izolacja akustyczna; 6 – strop; 7 – ściana

Fig. 1. The multilayer slab construction: 1 – skirting board; 2 – foil; 3 – flooring; 4 – screed; 5 – acoustic insulation; 6 – slab; 7 – wall

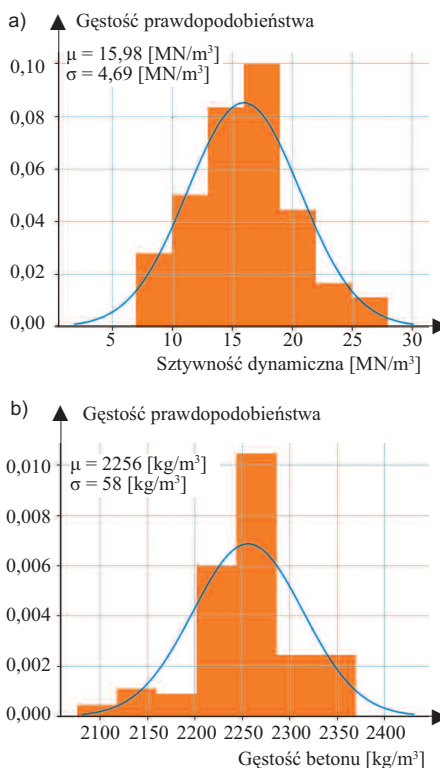
welny mineralnej lub mat polietylenowych. Styropian elastyczny przeznaczony do podłóg pływających, zgodny z normą PN-EN 13163+A2:2016 [7], powinien mieć potwierdzoną sztywność dynamiczną wyrażoną w MN/m³. Tylko wtedy zapewnia odpowiednie tłumienie dźwięków uderzeniowych. Jako warstwy izolacji akustycznej nie należy stosować polistyrenu ekspandowanego (EPS) ani polistyrenu ekstrudowanego (XPS), gdyż w procesie produkcyjnym tych materiałów nie jest kontrolowany parametr sztywności dynamicznej, a zatem nie jest deklarowany w gotowym produkcie i może przyjmować dowolną wartość [2]. Płyta dociskowa jest najczęściej wylewana na mokro w postaci tradycyjnego jastrychu cementowego lub lżejszych materiałów bazujących na kruszywie keramzytowym [5].

Analiza statystyczna

Materiały stosowane jako warstwa izolacji akustycznej muszą mieć zadeklarowaną przez producenta wartość **sztywności dynamicznej**. W artykule posłużono się danymi dotyczącymi sztywności dynamicznej publikowanymi w internecie [6], w nielicznych pracach magisterskich oraz literaturze [3, 13, 14]. W sumie w badaniach statystycznych uwzględniono 61 danych charakteryzujących styropian 33/30, gdzie 33 mm określa grubość bez obciążenia jastrychem, a 30 mm pod obciążeniem jastrychem.

Kolejnym parametrem, którego niepewność analizowano, była **gęstość betonu**. Przeprowadzono badania laboratoryjne stu próbek betonowych o wskaźniku w/c równym 0,5 wykonanych z cementu CEM I 42,5 i kruszywa naturalnego o maksymalnej wielkości ziarna 16 mm. W dalszej analizie gęstość betonu i sztywność dynamiczna płyty styropianu są traktowane jako zmienne losowe o rozkładzie normalnym. Parametry tego rozkładu wyznaczono testem Pearsona. W przypadku sztywności dynamicznej uzyskano wartość oczekiwaną 15,98 MN/m³, a odchylenie standardowe 4,69 MN/m³, natomiast w przypadku gęstości betonu: wartość oczekiwaną 2256 kg/m³ i odchylenie standardowe 58 kg/m³. Wyniki przedstawiono na rysunkach 2a i b. Mając na uwadze niewielką liczbę próbek, można przypuszczać, że rzeczywiste parametry statystyczne analizowanych materiałów różnią się od przyjętych wartości.

Analizę statystyczną izolacyjności akustycznej stropu wraz z warstwą



Rys. 2. Analiza statystyczna: a) sztywności dynamicznej; b) gęstości betonów o wskaźniku w/c = 0,5

Fig. 2. Statistical analysis: a) dynamic elasticity; b) density of concrete with w/c ratio equal to 0,5

izolacyjną, która opisana jest wzorami (1-3) wykonano, wykorzystując twierdzenie o dystrybucji funkcji ciągłej zmiennej losowej, które można sformułować następująco [4]:

Niech zmienna losowa U jest całkowalną funkcją dwuwymiarowej zmiennej losowej (X, Y), U = g(X, Y). Zgodnie z definicją dystrybuanty mamy:

$$K_f(u) = P(U < u) = P[g(X, Y) < u]$$

gdzie:

punkty x, y należą do płaskiego zbioru określonego nierównością g(x, y) < u. Jeśli f(x, y) będzie gęstością rozkładu prawdopodobieństwa dwuwymiarowej zmiennej (X, Y), to:

$$K_f(u) = \iint_D f(x, y) dx dy \quad (4)$$

gdzie:

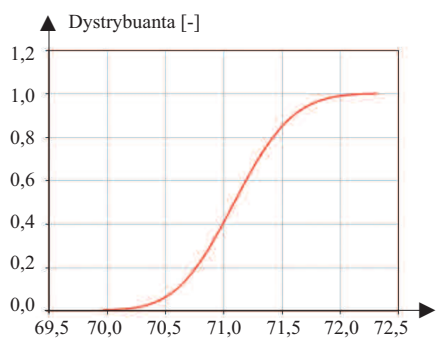
$$D = \{(x, y) : g(x, y) < u\}.$$

Przytoczone twierdzenie pozwala na wyznaczenie dystrybuanty funkcji dwóch ciągłych zmiennych losowych. Całkę zazwyczaj oblicza się numerycznie i w konsekwencji otrzymujemy funkcję dyskretną, z której niestety rzadko można otrzymać gładką gęstość rozkładu prawdopodobieństwa. W założeniach omawianego twierdzenia nie ma ograniczenia na przypadek, gdy zmienne są niezależne, co jest dużą zaletą wykorzystywanego sformułowania i umożliwia zastosowanie go w przypadku dużej grupy problemów.

Podczas analiz statystycznych przyjęto, że właściwości akustyczne stropu bez oraz z dodatkową izolacją są funkcją sztywności dynamicznej oraz gęstości materiału. W celu uproszczenia prowadzonych analiz przyjęto, że jastrych charakteryzują wielkości wyznaczone dla betonu. W prowadzonych analizach przyjęto następującą grubość poszczególnych warstw stropowych: jastrych – d = 50 mm; styropian 33/30 – 33 mm bez obciążenia i 30 mm pod obciążeniem jastrychu; płyta żelbetowa – d = 200 mm.

W najprostszym przypadku jednorodnych konstrukcji stropowych, równoważny ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego stropu bez dodatkowych warstw L_{n,eq,0,w} zależy tylko od gęstości betonu (masy powierzchniowej). Przyjmując, że gęstość betonu ma rozkład normalny o parametrach wg rysunku 2b, to dystrybuanta poziomu L_{n,eq,0,w} jest przedstawiona gra-

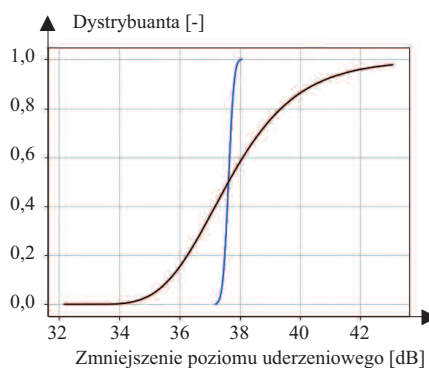
ficznie na rysunku 3. Na jej podstawie można łatwo oszacować medianę zmiennej $L_{n,eq,0,w}$ równą 71,1 dB. Wpływ zmienności gęstości betonu powoduje różnice wartości $L_{n,eq,0,w} \pm 1$ dB. Jednolita warstwa konstrukcyjna nie spełnia wymagań akustycznych określonych w tabeli 2, dlatego też należy zastosować dodatkowe warstwy izolacyjne podłogi.



Rys. 3. Dystrybuanta wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego stropu bez dodatkowej izolacji $L_{n,eq,0,w}$ wg wzoru (1), jako funkcji gęstości betonu

Fig. 3. Cumulative density function of equivalent weighted normalized impact sound pressure level $L_{n,eq,0,w}$ eq. (1), as the function of concrete density

W pierwszej kolejności wyznaczono wpływ, jaki ma niepewność gęstości jastrychu oraz sztywności dynamicznej płyty styropianu na rozkład zmniejszenia poziomu uderzeniowego ΔL_w , który opisuje wzór (2). Na rysunku 4 przedsta-



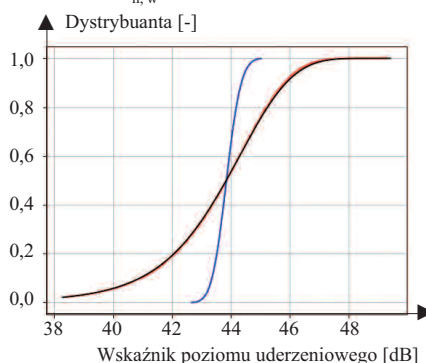
Rys. 4. Dystrybuanta zmniejszenia poziomu uderzeniowego ΔL_w wg wzoru (2) jako funkcji jednej zmiennej losowej: gęstość jastrychu – linia niebieska; sztywność dynamiczna – linia czerwona oraz dwie zmienne losowe (gęstość i sztywność) oznaczone linią czarną

Fig. 4. Cumulative density function of weighted reduction in impact sound pressure level of resilient coverings or floating floors ΔL_w eq. (2) as the function of concrete density (blue line), dynamic elasticity (red line), both concrete density and dynamic elasticity (black line)

wiono dystrybuantę zmiennej losowej ΔL_w jako funkcji gęstości jastrychu (linia niebieska), sztywności dynamicznej (linia czerwona) oraz obu tych zmiennych (linia czarna).

Łatwo zauważyć, że wpływ niepewności gęstości jastrychu jest znacznie mniejszy niż sztywności dynamicznej i w dalszych analizach pominięto tę zmienną. Kształt dystrybuanty zmiennej ΔL_w w funkcji sztywności dynamicznej i gęstości wskazuje, że gęstość rozkładu prawdopodobieństwa nie będzie funkcją symetryczną, a zatem ΔL_w nie ma rozkładu Gausa, choć zarówno w przypadku gęstości, jak i sztywności dynamicznej przyjęto rozkłady normalne.

Dystrybuantę ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego $L_{n,w}$ określonego wzorem (3) przedstawia rysunek 5. Przeanalizowano trzy przypadki: losowość gęstości płyty żelbetowej (linia niebieska); losowość sztywności dynamicznej (linia czerwona) oraz losowość obu wcześniej wymienionych zmiennych (linia czarna). Podobnie jak wcześniej, największy wpływ na niepewność zmiennej $L_{n,w}$ ma sztywność dynamicz-



Rys. 5. Dystrybuanta ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego znormalizowanego $L_{n,w}$ wg wzoru (3) jako funkcji jednej zmiennej losowej: gęstość jastrychu – linia niebieska; sztywność dynamiczna – linia czerwona oraz dwie zmienne losowe (gęstość i sztywność) oznaczone linią czarną

Fig. 5. Cumulative density function of normalized impact sound pressure level of floors, $L_{n,w}$ eq. (3) as the function of concrete density (blue line), dynamic elasticity (red line), both concrete density and dynamic elasticity (black line)

na. Kształt dystrybuanty wskazuje, że zmienna $L_{n,w}$ nie będzie miała rozkładu normalnego. Mediana zmiennej $L_{n,w}$ wynosi 43,8 dB, a zatem strop o przyjętych warstwach spełnia wymagania zawarte w PN-B-02151-3:2015 i przytoczone

w tabeli 2. Kwantyl rzędu 0,1 zmiennej $L_{n,w}$ wynosi 41,0 dB, natomiast kwantyl rzędu 0,9 aż 46,0 dB. Świadczy to o dużym wpływie losowości parametrów materiałów na wskaźnik znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L_{n,w}$ i pociąga za sobą znaczną niepewność spełnienia wymagań akustycznych w przypadku stropów o mniejszej grubości płyty żelbetowej lub gorszej jakości warstw izolacji akustycznej.

Podsumowanie

Dobierając materiał i konstrukcję przegród w budynku pod kątem izolacyjności akustycznej, należy kierować się wymaganiami podanymi w normie PN-B-02151-3:2015 [8]. Są to wskaźnik oceny przybliżonej izolacyjności akustycznej właściwej R'_{A1} , określający izolacyjność od dźwięków powietrznych oraz ważony wskaźnik poziomu uderzeniowego znormalizowanego przybliżonego $L_{n,w}$ określający izolacyjność od dźwięków uderzeniowych. Parametry charakteryzujące cechy elementów składowych stropu powinny być przyjmowane przede wszystkim na podstawie standardowych pomiarów laboratoryjnych.

W artykule przeanalizowano wpływ istotności poszczególnych zmiennych na zmniejszenie poziomu uderzeniowego stropu z pływającą podłogą. Ograniczono się jedynie do analizy przypadku, gdy warstwę elastyczną stanowiła warstwa styropianu ESP T. W praktyce warstwa izolacyjna może być wykonywana również z innych materiałów, m.in. z wełny mineralnej. W pierwszej kolejności wyznaczono rozkład gęstości betonu stropu masywnego bez podłogi (rysunek 2b) i na podstawie tego obliczono wartość średnią oraz zmienność równoważnego wskaźnika ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego $L_{n,eq,0,w}$.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że strop grubości 200 mm uzyskał średnią wartość wskaźnika ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego ok. 71 dB, a wpływ zmienności masy powierzchniowej betonu powoduje, że równoważny wskaźnik ważonego znormalizowanego poziomu uderzeniowego może zmieniać się o ok. ± 1 dB.

Następnie przeanalizowano wpływ zmienności sztywności dynamicznej i gęstości płyty dociskowej, stanowią-



ARBOCEL P – The Power of Innovation

- – nieograniczone możliwości regulacji konsystencji,
- – łatwe i szybkie mieszanie,
- – zagęszczanie i stabilizacja tynków i farb przy jednoczesnej poprawie aplikacji



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbocel@irp.pl

cych pływającą podłogę, na poprawę izolacyjności akustycznej stropu. Wyniki analizy pokazały, że niepewność gęstości materiału, z którego wykonano jastrych cementowy (rysunek 4), ma pomijalnie mały wpływ na wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego podłogi w porównaniu z niepewnością sztywności dynamicznej. Wpływ losowości sztywności dynamicznej na ważony wskaźnik zmniejszenia poziomu uderzeniowego ΔL_w wynosi ± 4 dB.

Analizując zmienność ważonego wskaźnika poziomu uderzeniowego $L_{n,w}$ stropu z pływającą podłogą, wynikającą z losowości gęstości płyty żelbetowej i sztywności dynamicznej płyty styropianowej, zaobserwowano znaczną propagację niepewności (szczególnie sztywności dynamicznej) na wyznaczony parametr izolacyjności akustycznej (mediana wynosi 40,9 dB, kwantyl rzędu 0,1 wynosi 38,0 dB, a kwantyl rzędu 0,9 aż 43,0 dB). Pociąga to za sobą znaczną niepewność spełnienia wymagań akustycznych dotyczących stropów o mniejszej grubości płyty żelbetowej lub gorszej jakości warstw izolacji akustycznej.

Przy ocenie izolacyjności akustycznej od dźwięków uderzeniowych należy brać również pod uwagę przenoszenie dźwięków przez konstrukcje boczne. Z badań wynika, że kluczowy wpływ na spełnienie wymagań akustycznych dotyczących dźwięków uderzeniowych w przypadku stropów ma warstwa elastyczna, która oddylałtuje płytę dociskową od stropu i ścian. W przypadku danych wartości równoważnego ważonego wskaźnika znormalizowanego poziomu uderzeniowego stropu bez dodatkowych warstw $L_{n,eq,0,w}$ możliwe jest, w konkretnych warunkach materiałowo-konstrukcyjnych (znane przenoszenie boczne), dobranie odpowiedniej podłogi w zależności od parametrów akustycznych płyty żelbetowej. Znając wymaganą minimalną wartość ważonego wskaźnika zmniejszenia poziomu uderzeniowego w wyniku zastosowania na stropie podłogi ΔL_w można dobrać odpowiednie rozwiązanie podłogi, pozwalające spełnić wymagania normowe. Duże różnice pomiędzy parametrami akustycznymi materiału stosowanego jako element tłumiący drgania w podłogach pływających, osiągnięte przez różnych produ-

centów, mogą jednak powodować, że właściwości akustyczne podłogi są niejednoznaczne (mogą być zarówno znacznie gorsze, jak i lepsze od deklarowanych). Nie zawsze można więc mieć pewność, że przyjęte parametry podłóg spełnią określone wymagania. Zalecane byłoby, aby producenci w deklaracjach swoich produktów stosowali dokładniejszą specyfikację materiału akustycznego stosowanego w pływających podłogach.

Literatura

- [1] Klemm Piotr (red.). 2005. *Budownictwo ogólne*. Tom 2. Fizyka budowli. Arkady.
- [2] Kłosak Andrzej K. 2013. „Kształtowanie akustyki w budynkach – poprawne rozwiązania w projektowaniu i wykonawstwie”. *Izolacje* 6/2013.
- [3] Kowalska-Koczwara Alicja, Anna Romańska-Zapała. 2014. „Ocena możliwości spełnienia wymagań normowych dotyczących izolacyjności cieplnej i akustycznej przez stropy międzykondygnacyjne”. *Materiały Budowlane* 11 (507): 48 – 50.
- [4] Krysicki Włodzimierz, J. Bartos, W. Dyczka, K. Królikowska, M. Wasilewski. 2012. *Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna w zadaniach*. Rachunek prawdopodobieństwa cz. 1. PWN.
- [5] Nurzyński Jacek. 2019. „Izolacyjność akustyczna stropów w budynkach mieszkalnych”. *Inżynier Budownictwa*.
- [6] Płyta Paroc SSB 1 – izolacja akustyczna podłóg od podszewki.
- [7] PN-EN 13163+A2:2016-12 Wyroby do izolacji cieplnej w budownictwie – Wyroby ze styropianu (EPS) produkowane fabrycznie – Specyfikacja.
- [8] 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.
- [9] PN-EN ISO 717-2:2013 Akustyka – Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych – Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych.
- [10] PN-EN 29052-1:2011 Akustyka – Określanie sztywności dynamicznej – Część 1: Materiały stosowane w pływających podłogach w budynkach mieszkalnych.
- [11] PN-EN ISO 12354-2:2017-10 Akustyka budowlana – Określenie właściwości akustycznych budynków na podstawie właściwości elementów – Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych między pomieszczeniami.
- [12] Szudrowicz Barbara. 2003. „Ocena izolacyjności akustycznej stosowanych w Polsce wyrobów do wykonywania przegród wewnętrznych w świetle badań Zakładu Akustyki ITB”. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik* nr 3 (127).
- [13] Tomczyk Paweł. 2005. „Pomiary sztywności dynamicznej warstwy przeciwdrganowej jako element oceny akustycznej podłóg pływających”. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik* nr 4 (136).
- [14] Tomczyk Paweł. 2007. „Wpływ parametrów materiałowo-konstrukcyjnych na właściwości akustyczne podłóg”. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik* nr 4 (144).

Przyjęto do druku: 17.06.2021 r.