

Barbara Szudrowicz*

OCENA WŁAŚCIWOŚCI AKUSTYCZNYCH ŚCIAN Z ELEMENTÓW CERAMICZNYCH DRAŻONYCH

Isolacyjność akustyczna ścian wykonanych z elementów drażonych często jest znacznie mniejsza od tej, jakiej można by oczekiwać uwzględniając jedynie masę powierzchniową przegrody. Szczególnie duży niekorzystny wpływ mają niektóre rodzaje i układy drażeń szczelinowych. Zagadnienie to zostało omówione na przykładzie ścian z elementów ceramicznych. Przedstawiono i omówiono wyniki badań Zakładu Akustyki ITB dotyczące ścian o różnym układzie drażeń szczelinowych. W badaniach zostały uwzględnione zarówno drażenia korzystne, jak i niekorzystne pod względem akustycznym.

1. Wprowadzenie

We współczesnym budownictwie szerokie zastosowanie znajdują przegrody wykonane z elementów drażonych. Izolacyjność akustyczna tego rodzaju ścian jest często znacznie mniejsza od tej, jakiej można byłoby oczekiwać uwzględniając jedynie masę powierzchniową przegrody. Obniżenie wskaźnika ważonego R_w izolacyjności akustycznej dochodzi nawet do 10 dB. Jest to subiektywnie odczuwalne jako dwukrotne zwiększenie przenikania dźwięku przez ścianę. Zjawisko to dotyczy zarówno izolacyjności akustycznej bezpośredniej, jak i izolacyjności bocznej, a zatem wpływa także negatywnie na izolacyjność akustyczną między pomieszczeniami w budynku.

Wpływ drażeń na izolacyjność akustyczną zależy od ich wymiarów, kształtu i ułożenia w przekroju przegrody. Z praktyki wiadomo, że największy niekorzystny wpływ na izolacyjność akustyczną mają niektóre układy drażeń szczelinowych i to przede wszystkim te, które są preferowane ze względu na właściwości termiczne przegrody.

W artykule przedstawiono ocenę akustyczną przegród z elementów drażonych na przykładzie wybranych rodzajów ścian ceramicznych oraz uzasadniające tę ocenę wyniki badań Zakładu Akustyki Instytutu Techniki Budowlanej, uzupełnione danymi z literatury przedmiotu. W analizie wpływu drażeń na izolacyjność akustyczną przegród ceramicznych nie uwzględniono drażeń o przekroju kołowym.

* dr hab. inż – prof. ITB

2. Modelowa charakterystyka izolacyjności akustycznej płyty jako podstawa do ogólnej oceny izolacyjności akustycznej przegród z elementów drażonych

Izolacyjność akustyczna przegrody jest zależna od rodzaju drgań rozprzestrzeniających się w przegrodzie pod wpływem działania na tę przegrodę fali akustycznej [1].

Na rysunku 1 przedstawiono schematyczną charakterystykę izolacyjności akustycznej właściwej płyty w funkcji częstotliwości, z zaznaczonymi trzema podstawowymi przedziałami częstotliwości, w których dominującą rolę w transmisji dźwięku przez przegrodę odgrywają różne formy drgań. Przedziały te są rozgraniczone dwiema częstotliwościami charakterystycznymi f_{gr} i f_s , które dla przegród z płyt pełnych można opisać za pomocą wzorów:

$$f_{gr} = \frac{c^2}{2n} \sqrt{\frac{M}{B}} \approx \frac{c^2}{2c_L d} \quad (1)$$

$$f_s = \frac{0,3}{d} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \approx \frac{0,3 c_L}{d} \quad (2)$$

w których:

- c – prędkość dźwięku w powietrzu, m/s,
- c_L – prędkość drgań podłużnych w materiale przegrody, m/s,
- d – grubość przegrody, m,
- E – moduł sprężystości materiału przegrody, N/m²,
- ρ – gęstość materiału, kg/m³,
- M – masa powierzchniowa przegrody, kg/m²,
- B – sztywność na zginanie (na jednostkę długości przegrody).

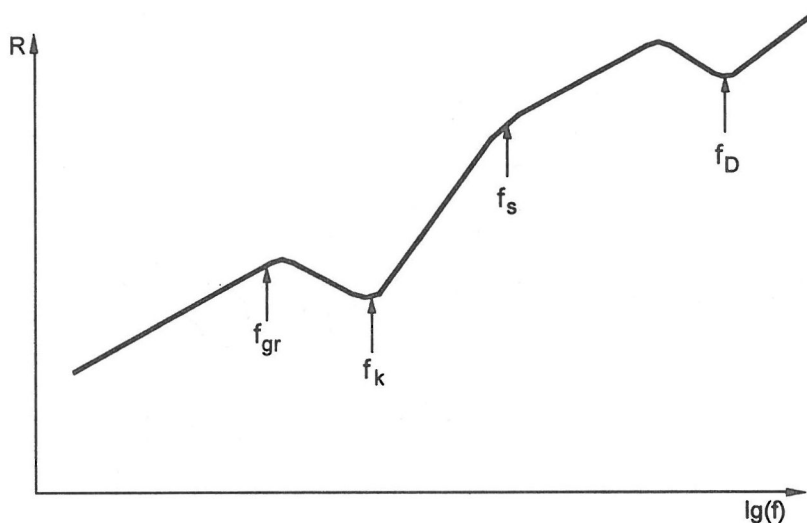
Poniżej częstotliwości f_{gr} , która nosi nazwę granicznej częstotliwości koincydencji transmisja dźwięku przez przegrodę odbywa się w wyniku drgań, które mają formę drgań tłoka (rys. 2a). W tym przedziale częstotliwości izolacyjność akustyczna przegrody zależy od masy przypadającej na jednostkę powierzchni ściany. Jest to obszar tzw. teoretycznego prawa masy. W tym obszarze izolacyjność akustyczna wykazuje zależność logarymiczną, zarówno od jednostkowej masy powierzchniowej przegrody, jak i od częstotliwości.

Powyżej częstotliwości granicznej koincydencji f_{gr} pod wpływem fali akustycznej padającej pod kątem różnym od 90° powstają w przegrodzie fale gięte (rys. 2b). Charakterystyczne dla tych fal jest to, że drgania punktów leżących naprzeciw siebie na powierzchniach ściany poruszają się w tej samej fazie. Odległość między tymi punktami pozostaje stała.

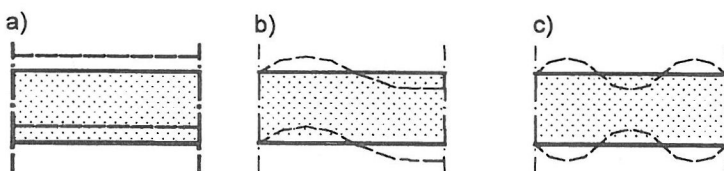
W tym obszarze częstotliwości istotne znaczenie oprócz masy przegrody ma jej sztywność na zginanie oraz współczynnik tłumienia wewnętrznego. Jeżeli długość fali giętej rozprzestrzeniającej się w przegrodzie równa jest długości rzutu fali akustycznej padającej na przegrodę, powstaje tzw. rezonans przestrzenny, który powoduje bardzo wyraźne obniżenie izolacyjności przegrody. Jeżeli przegroda znajduje się pod działaniem fali akustycznej padającej pod różnymi kątami, tj. w polu akustycznym rozprosz-

nym (a takie przypadki występują najczęściej w praktyce), to częstotliwość koincydencji f_k jest od 1 do 2 tercyj większa od częstotliwości granicznej.

Począwszy od częstotliwości f_s w przedziale powstają fale podłużne rozprzestrzeniające się w kierunku prostopadłym do powierzchni przegrody. W przeciwieństwie do fal giętnych powodują one, że punkty leżące naprzeciw siebie na powierzchniach przegrody poruszają się w fazach przeciwnych. W wyniku tego odległości między tymi punktami ulegają zmianom (rys. 2c).



Rys. 1. Schematyczna charakterystyka izolacyjności akustycznej właściwej płyty w funkcji częstotliwości; f_{gr} , f_s – częstotliwości charakterystyczne opisane za pomocą wzorów (1) i (2); f_k , f_D – częstotliwości rezonansowe (odpowiednio: koincydencji i „rezonansu grubościowego”)

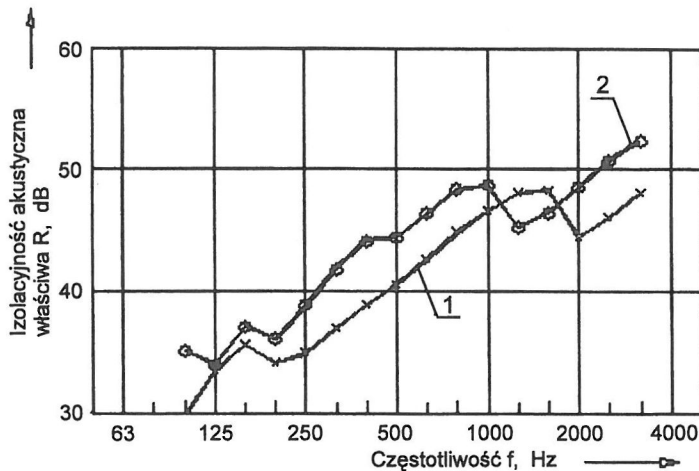


Rys. 2. Schematyczny obraz graficzny rodzajów drgań przegrody płytowej: a – drgania „łokowe”, b – drgania giętne, c – drgania ścinające

W tym przedziale częstotliwości występuje tzw. rezonans grubościowy, przy którym następuje wyraźne obniżenie izolacyjności przegrody. Zjawisko to ma miejsce przy częstotliwości f_D opisanej za pomocą wzoru

$$f_D = \frac{1}{2d} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \frac{1}{2d} c_L \quad (3)$$

Ze wzoru (3) wynika, że w przypadku przegród płytowych „rezonans grubościowy” występuje w pasmie wysokich częstotliwości, najczęściej powyżej podstawowego przedziału częstotliwości rozpatrywanego w budownictwie (tj. powyżej 3150 Hz). Wpływ „rezonansu grubościowego” na izolacyjność akustyczną przegrody w istotnym dla budownictwa przedziale częstotliwości obserwuje się jedynie w przypadku przegród o dużej grubości, wykonanych z materiału, w którym prędkość rozprzestrzeniania się dźwięku jest stosunkowo mała. Jako przykład, na rysunku 3 przedstawiono wyniki badań izolacyjności akustycznej ścian z betonu komórkowego odmiany 300 o grubości 24 cm i 36 cm [2]. W przypadku tych ścian zniżenie izolacyjności akustycznej przy częstotliwości f_D nie jest duże, a ponieważ występuje w stosunkowo wysokim pasmie częstotliwości, tylko w niewielkim stopniu wpływa na wartości jednoliczbowych wskaźników izolacyjności akustycznej właściwej.



Rys. 3. Charakterystyki izolacyjności akustycznej właściwej ściany z betonu komórkowego odmiany 300; 1 – grubość 24 cm, 2 – grubość 36 cm

3. Ogólna charakterystyka izolacyjności akustycznej przegród z elementów drążonych

Można postawić pytanie, w jaki sposób należałoby scharakteryzować czynniki wpływające na izolacyjność akustyczną przegród drążonych w stosunku do opisanego w p. 2 modelu odnoszącego się do płyt pełnych. Czynniki te należy podzielić na dwie grupy:

a) czynniki wpływające na powstawanie drgań rezonansowych w obrębie komór występujących w elementach drążonych,

b) czynniki, które wpływają na zmianę drgań całej przegrody (lub elementów przegrody) w stosunku do zależności opisanych w p. 2.

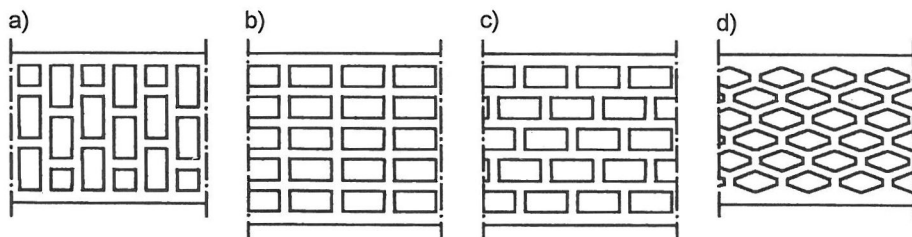
Ze względu na wymiary drążen ściennych elementów budowlanych można w analizie pominąć zjawiska rezonansowe odnoszące się wyłącznie do drgań powietrza zamkniętego wewnątrz drążen.

Drażenia powodują natomiast zmianę stosunku M/B przegrody decydującego o wartości granicznej koincydencji zgodnie ze wzorem (1). Częstotliwość ta w przypadku ścian z elementów drażonych przemieszcza się w kierunku niskich częstotliwości, co jest zjawiskiem korzystnym. Drażenia wpływają nie tylko na sztywność ściany na zginanie, ale także na jej sztywność w kierunku prostopadłym w stosunku do jej powierzchni. Jest to istotne ze względu na przebieg izolacyjności akustycznej powyżej częstotliwości charakterystycznej f_s , w tym z uwagi na pasmo występowania częstotliwości rezonansowej f_D .

Nie ma, niestety, wzorów określających częstotliwość „rezonansu grubościowego” f_D ścian z elementów drażonych uwzględniającego wymiary, kształt i ułożenie drażeń w stosunku do powierzchni przegrody.

Niektórzy autorzy [3] oceniają to zjawisko jakościowo, traktując przegrodę z elementów drażonych w przedziale częstotliwości $f > f_s$ jako układ dwóch mas reprezentowanych przez ścianki zewnętrzne elementów połączonych sztywnością reprezentowaną przez wewnętrzną drażoną część elementu. Im sztywność ta jest mniejsza, tym częstotliwość „rezonansu grubościowego” występuje w pasmie niższych częstotliwości, powodując znaczne obniżenie wartości jednoliczbowych wskaźników izolacyjności akustycznej.

Biorąc pod uwagę ten opisowy model, można podać ogólną akustyczną klasyfikację drażeń elementów ceramicznych (z wyłączeniem drażeń o przekroju kołowym), przyjmując jako korzystne te drażenia, które nie powodują „rezonansu grubościowego” w przedziale częstotliwości istotnym przy ocenie akustycznej przegród budowlanych oraz jako niekorzystne te, przy których „rezonans grubościowy” występuje w pasmie częstotliwości średnich. Schematy tych drażeń przedstawiono na rysunku 4. Trzeba jednak podkreślić, że klasyfikację tę należy traktować jedynie jako ogólną wskazówkę. Znane są z literatury przypadki [4], że ściany z elementów o korzystnym według powyższej klasyfikacji układzie drażeń charakteryzują się niekorzystną izolacyjnością akustyczną i odwrotnie.



Rys. 4. Schematy układów drażeń: a, b – korzystne pod względem akustycznym, c, d – niekorzystne pod względem akustycznym

W przypadku drażeń np. szczelinowych równoległych do powierzchni przegrody pewien wpływ na izolacyjność akustyczną ma także częstotliwość koincydencji ścianek zewnętrznych [5] elementów drażonych oraz – jak podano wcześniej – masa powierzchniowa tych ścianek. Z tego względu w przypadku tych przegród istotne znaczenie ma

rodzaj zastosowanego tynku. Masywne tynki częściowo niwelują zaniżenie izolacyjności w obszarze „rezonansu grubościowego”.

Ściany z niekorzystnymi z punktu widzenia akustycznego drażnieniami mają nie tylko mniejszą bezpośrednią izolacyjność akustyczną, ale także w większym stopniu przenoszą energię akustyczną w kierunku podłużnym. Powoduje to zwiększenie bocznego przenoszenia dźwięku w budynku, a tym samym obniżenie izolacyjności akustycznej między pomieszczeniami. Zjawisko to nie jest w dostatecznym stopniu zbadane, ale obserwuje się jego wpływ w praktyce.

W niektórych zaleceniach projektowych [6] eliminuje się ze względów akustycznych stosowanie ścian zewnętrznych z elementów drażnionych (bez względu na rodzaj drażeń), ewentualnie dopuszcza się takie rozwiązania tylko łącznie z dodatkowymi warstwami izolacji akustycznej stosowanymi od strony pomieszczenia.

4. Przykłady wyników badań

Ze względu na dużą liczbę czynników wpływających na izolacyjność akustyczną ścian z elementów drażnionych (nawet jeżeli ograniczy się analizowane rodzaje drażeń tylko do jednego typu, np. drażeń szczelinowych) nie ma zrealizowanych programów badawczych, które dawałyby podstawy do kompleksowej oceny akustycznej tego rodzaju przegród. Żaden ze znanych ośrodków badawczych zajmujących się zagadnieniami akustyki budowlanej nie dysponuje dostateczną liczbą własnych badań, które pozwoliłyby na uogólnienie wyników. Korzystanie w tym przypadku z wyników badań podawanych w literaturze jest utrudnione ze względu na niedostateczne opisy parametrów technicznych badanych elementów [4].

Zakład Akustyki ITB przeprowadził badania kilku rozwiązań ścian z elementów ceramicznych drażnionych, które w zestawieniu z wynikami badań podawanymi w literaturze potwierdzają ogólną charakterystykę tego rodzaju przegród podaną w p. 3.

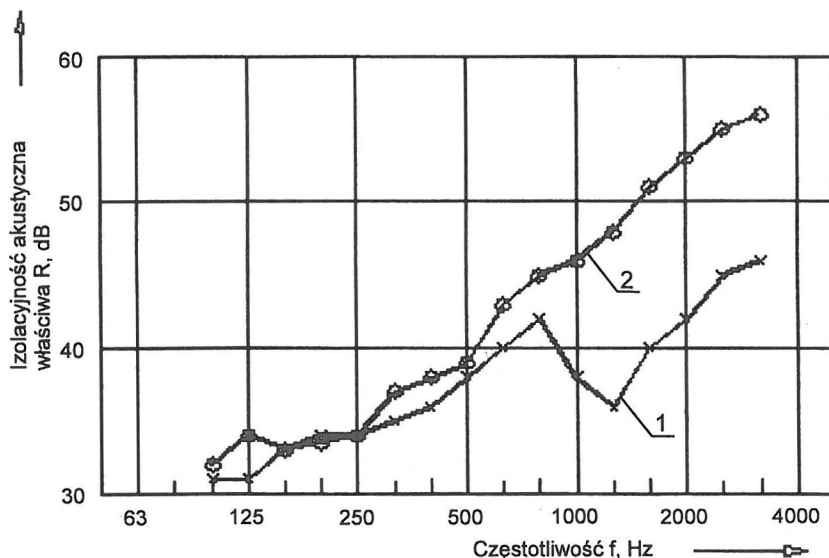
Najbardziej charakterystyczne są wyniki badań ścian wykonanych z elementów ceramicznych o przekroju poprzecznym kwadratowym, z drażnieniami typu szczelinowego. Pozwoliło to na określenie przebiegów izolacyjności akustycznej w funkcji częstotliwości dwóch ścian o takiej samej grubości, takiej samej masie powierzchniowej, z identycznymi drażnieniami, lecz usytuowanymi raz równolegle, a raz prostopadle do powierzchni ściany. Jedynym czynnikiem, który mógł różnicować izolacyjność akustyczną tej przegrody było więc ułożenie szczelin. Wyniki badań przedstawiono na rysunku 5. Przy ułożeniu szczelin równolegle do powierzchni przegrody (krzywa 1) wyraźne jest obniżenie izolacyjności akustycznej w otoczeniu częstotliwości $f = 1250$ Hz, co jest związane z „rezonansem grubościowym”. Potwierdziły to także wyniki pomiaru drgań na powierzchni ściany [1], [5]. Przy ułożeniu szczelin prostopadle do powierzchni przegrody (krzywa 2) „rezonans grubościowy” nie występuje.

Potwierdzeniem tego samego zjawiska mogą być także zestawione na rysunku 6 wyniki badań ścian z elementów ceramicznych porowatych drażnionych, dość powszechnie stosowanych obecnie w krajowym budownictwie.

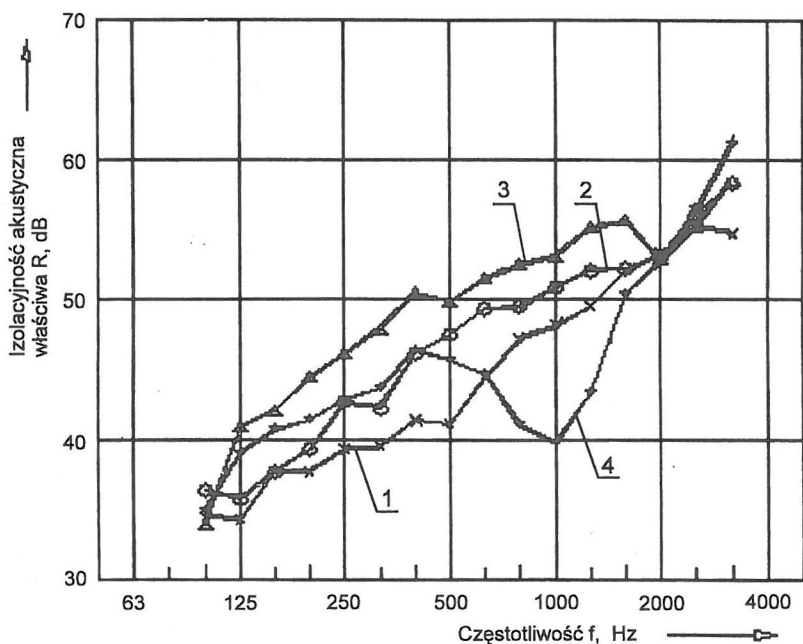
Krzywe 1, 2, 3 przedstawiają izolacyjność akustyczną ścian tynkowanych, wykonanych z elementów z drażeniami prostopadłymi do powierzchni ściany (wg rys. 4a) o grubości odpowiednio 11,5 cm, 18,8 cm, 25,0 cm (podano grubość ściany bez tynku), zaś krzywa 4 przedstawia izolacyjność akustyczną ściany o grubości 38 cm z drażeniami równoległymi do powierzchni ściany (kształt drażeń – falisty wg rys. 4d). Ściana reprezentowana pod względem akustycznym przez krzywą 4 przy masie powierzchniowej 344 kg/m² (masa bez tynku) charakteryzuje się mniejszym jednoczłobowym ważonym wskaźnikiem izolacyjności akustycznej R_w niż ściana grubości 11,5 cm o masie powierzchniowej 111,2 kg/m². Podobne relacje występują w odniesieniu do nowych wskaźników R_{A1} i R_{A2} wprowadzonych przez PN-EN ISO 771-1:1999 i PN-B-02151-3:1999.

W przypadku elementów z drażeniami szczelinowymi równoległymi do powierzchni ściany istotne znaczenie ma ich usytuowanie w rzędach lub z przesunięciami (jak np. na rys. 4b i c). Ilustrują to wyniki badań przedstawione na rysunku 7 według [4]. W przypadku szczelin usytuowanych w rzędach stosunkowo duża jest sztywność przegrody na zginanie, co eliminuje w praktyce zjawisko rezonansu grubościowego z przedziału częstotliwości istotnego dla oceny izolacyjności akustycznej przegrody budowlanej.

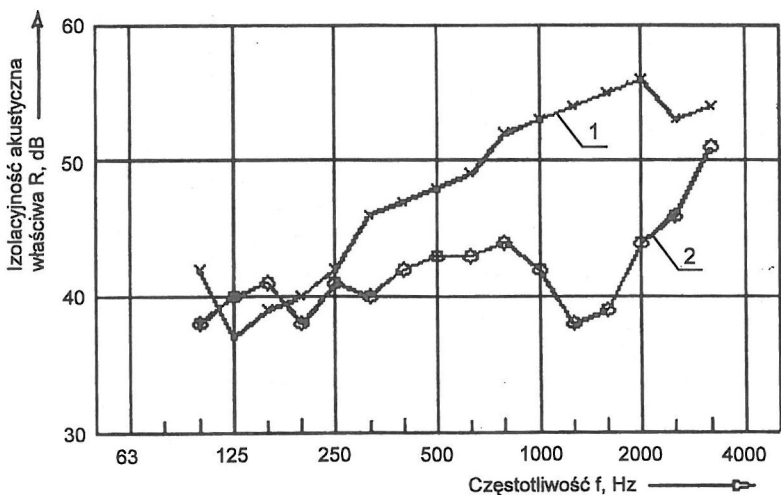
Przedstawione przykładowe wyniki badań potwierdzają ogólną charakterystykę akustyczną ścian z elementów drażonych przedstawioną w p. 3. Nie oznacza to jednak, że nie istnieją rozwiązania, których izolacyjność akustyczna odbiega od tych ogólnych zasad [3]. Z tego względu przegrody z elementów drażonych powinny mieć właściwości akustyczne określone wyłącznie na podstawie badań.



Rys. 5. Charakterystyka izolacyjności akustycznej właściwej ściany z elementów ceramicznych z drażeniami szczelinowymi przy różnym układzie szczelin w stosunku do powierzchni ściany: 1 – układ szczelin równoległych do powierzchni ściany (jak na rys. 4c), 2 – układ szczelin prostopadły do powierzchni ściany (jak na rys. 4a)



Rys. 6. Charakterystyki izolacyjności akustycznej właściwej ścian z elementów ceramicznych drażonych: 1 – drażenia prostopadłe do powierzchni przegrody (wg rys. 4a), ściana grubości 11,5 cm, 2 – jw., lecz ściana grubości 18,8 cm, 3 – jw., lecz ściana grubości 25,0 cm, 4 – drażenia równoległe do powierzchni przegrody (wg rys. 4c), ściana grubości 38 cm



Rys. 7. Charakterystyki izolacyjności akustycznej właściwej ścian z elementami ceramicznymi z drażeniami szczelinowymi równoległymi do powierzchni ściany (wg rys. 4) na podstawie [4]: 1 – szczeliny ułożone w rzędach (wg rysunku 4b), 2 – szczeliny ułożone z przesunięciem (wg rys. 4c)

5. Wnioski końcowe

1. Izolacyjność akustyczna ścian z elementów drażonych w bardzo dużym stopniu zależy od wymiaru, kształtu drażeń i ich usytuowania w przekroju ściany. Drażenia w wielu przypadkach powodują znaczne obniżenie izolacyjności akustycznej ściany w stosunku do wartości, której należałoby oczekiwać ze względu na masę powierzchniową ściany.

2. Za najbardziej niekorzystne z punktu widzenia akustycznego należy uznać drażenia szczelinowe usytuowane równolegle do powierzchni ściany z wzajemnym przesunięciem. Ponieważ jest to typ drażeń korzystny pod względem cieplnym, należy stwierdzić, że w tym przypadku występuje sprzeczność między wymaganiami akustycznymi i termicznymi.

3. Mimo znanej ogólnej charakterystyki akustycznej przegród z elementów drażonych szczelinowych nie istnieją metody pozwalające na przewidywanie izolacyjności akustycznej tego rodzaju konkretnej przegrody, które zapewniałyby dokładność dostateczną na potrzeby praktyczne. Z tego względu takie ściany powinny mieć określone właściwości akustyczne na podstawie badań laboratoryjnych. Odnosi się to szczególnie do rozwiązań, których zakres stosowania wskazuje na istotne znaczenie wymagań akustycznych (np. ściany wewnętrzne, ściany zewnętrzne szczytowe).

4. Ściany z elementów drażonych mają niekorzystne właściwości akustyczne w odniesieniu do bocznej transmisji dźwięku. Odnosi się to szczególnie do rozwiązań, które charakteryzują się niekorzystną bezpośrednią izolacyjnością akustyczną. Obliczeniowe metody wyznaczania boczego przenoszenia dźwięku przez przegrody podane w EN-12354-1 nie mają zastosowania do tego rodzaju rozwiązań. Z tego względu niezbędne jest przeprowadzenie badań bocznej izolacyjności akustycznej szczególnie ścian z elementów ceramicznych drażonych powszechnie stosowanych w polskim budownictwie. Ze względu na brak odpowiedniej bazy laboratoryjnej badania te powinny być przeprowadzone bezpośrednio w budynkach przy zastosowaniu specjalnych technik pomiarowych.

Literatura

- [1] Szudrowicz B.: Podstawy kształtowania izolacyjności akustycznej pomieszczeń w budynkach mieszkalnych. ITB, Warszawa 1999
- [2] Szudrowicz B., Zapotoczna-Sytek G.: Badania dźwiękoizolacyjnych właściwości ścian z elementów z betonu komórkowego produkcji krajowej. XVII Konferencja Naukowo-Techniczna, Jadwisin 2000, s. 119–127
- [3] Heckl M., Lewitt M.: Luftschalldämmung von Vielschichtplatten mit zahlreichen Schallbrücken. DAGA '90, s. 199–203
- [4] Scholl W., Weber L.: Einfluss der Lochung auf die Schalldämmung und Schalllängsdämmung von Mauersteinen. Ergebnisse einer Literaturobwertung. Bauphysik, 1998, Heft 2, s. 49–55
- [5] Szudrowicz B.: Izolacyjność akustyczna przegród z elementów drażonych. *Prace Instytutu Techniki Budowlanej – Kwartalnik*, 1 (45), 1983
- [6] Nouvelle Réglementation Acoustique. Exemples de Solution, CSTB

THE EVALUATION OF THE ACOUSTIC PROPERTIES OF PARTITIONS MADE OF CERAMIC HOLLOWED ELEMENTS

Summary

The airborne sound insulation of walls made of hollowed elements is often much lower than expected, considering only the surface mass of the partition. Particularly large negative influence is exerted by some kinds and systems of gap hollowings. This issue is examined on the example of walls made of ceramic elements. The results of tests conducted by the Departments of Acoustics of the Building Research Institute on walls with different systems of gap hollowings are presented and discussed. The tests encompassed hollowings both favourable and unfavourable from the point of view of acoustics.

Praca wpłynęła do Redakcji 20 IV 2000