

Piotr Kozłowski Ph.D.Eng.¹⁾
ORCID: 0000-0002-3122-6606

Sound insulation of a double wall made of silicate blocks – comparison of modelling results and measurements in real conditions

Izolacyjność akustyczna podwójnej ściany z bloczków silikatowych – porównanie wyników modelowania z pomiarami w warunkach rzeczywistych

DOI: 10.15199/33.2024.12.11

Abstract. The article concerns the acoustic insulation of a double wall made of silicate blocks. A comparison is presented between the results of theoretical modelling and acoustic measurements of the completed partition. The paper focuses in particular on the differences observed in the low frequency range. Consideration is given to the influence of the natural modal distribution on the resultant sound insulation. The discussion on the basis of the collected results of comparing computer modelling and acoustic measurements of the physically realised wall was used to formulate the final conclusions.

Keywords: sound insulation; computer modelling; acoustic measurements; double wall.

Two rooms with irregular trapezoidal shapes were designed and completed. They are rooms made with box-in-box technology, being two inner boxes placed inside a larger outer box. The floors of both rooms were sited on a foundation slab using vibration isolators. The walls and ceilings are a self-supporting structure. They were made of 26 cm thick concrete. The exception to this is the wall separating the test rooms. Due to the multifunctional nature of the rooms, it is envisaged that part of the wall can be removed to create a connection between the rooms. In order to provide this possibility, a double wall partition made of 24 cm thick solid silicate blocks was used here, completely separated. Fig. 1 schematically shows a cross-section through the tested wall.

Results of sound insulation calculations and measurements

At the design stage, the aim was to achieve the highest possible sound insulation between the rooms and their surroundings. To this end, the Insul programme, version 9.0.8, was used to calculate and verify the acoustic insulation of the newly designed partitions. This article presents the results of calculations for a double partition made of acoustic silicate blocks in a configuration without mineral wool between the

¹⁾ Wrocław University of Science and Technology Faculty of Electronics, Photonics and Microsystems;
piotr.kozlowski@pwr.edu.pl

Streszczenie. Artykuł dotyczy izolacyjności akustycznej ściany podwójnej wykonanej z bloczków silikatowych. Przedstawiono porównanie wyników modelowania teoretycznego z rezultatami pomiarów akustycznych wykonanej przegrody. Skupiono się przede wszystkim na zauważonych różnicach w zakresie małych częstotliwości. Przedstawiono rozważania dotyczące wpływu rozkładu modów własnych na wypadkową izolacyjność akustyczną. Analiza zebranych wyników porównania modelowania komputerowego oraz pomiarów akustycznych fizycznie zrealizowanej przegrody posłużyła do sformułowania wniosków końcowych.

Słowa kluczowe: izolacyjność akustyczna; modelowanie komputerowe; pomiary akustyczne; ściana podwójna.

Zaprojektowano i zrealizowano dwa pomieszczenia o nieregularnych trapezoidalnych kształtach. Są to pomieszczenia wykonane w technologii pudełko w pudełku, stanowiące dwa pudła wewnętrzne umieszczone wewnątrz większego pudła zewnętrznego. Podłogi obu pomieszczeń zostały posadowione na płycie fundamentowej z wykorzystaniem wibroizolatorów. Ściany i sufity stanowią konstrukcję samonośną. Zostały one wykonane z betonu o grubości 26 cm. Wyjątek stanowi ściana oddzielająca badane pomieszczenia. Ze względu na wielofunkcyjność pomieszczeń przewiduje się możliwość demontażu części ściany i stworzenia połączenia między pomieszczeniami. W celu zapewnienia takiej możliwości zastosowano w tym miejscu podwójną, całkowicie odseparowaną, przegrodę murowaną z pełnych bloczków silikatowych o grubości 24 cm. Rysunek 1 schematycznie przedstawia przekrój przez badaną ścianę.

Wyniki obliczeń oraz pomiarów izolacyjności akustycznej

Na etapie projektowym założono osiągnięcie możliwie dużej izolacyjności akustycznej zarówno między pomieszczeniami, jak i ich otoczeniem. W tym celu do obliczeń i weryfikacji izolacyjności akustycznej nowo projektowanych przegród wykorzystano program Insul w wersji 9.0.8. W artykule przedstawiono wyniki obliczeń podwójnej przegrody wykonanej z akustycznych bloczków silikatowych w konfiguracji bez

walls (Figures 2 and 3) and with wool (Figures 4 and 5).

The measurements were carried out in empty interiors, without finishes. The full dilatation of the walls and access to the cavity made it possible to carry out comparative measurements without mineral wool and with mineral wool in the cavity between the partitions. The sound insulation tests were carried out in accordance with EN ISO 16283-1 [1] using the moving microphone method. The single figure indices were determined in accordance with EN ISO 717-1 [2]. The guidelines contained in EN ISO 16283 1 [1] were taken into account when selecting the measurement points. The reverberation time was examined in accordance with EN ISO 3382-2 [3] using the interrupted noise method for 30 dB. Arithmetic averaging of the results was carried out for min. 5 fade curves.

The measurement data for determining the airborne sound insulation of the partition and the measurement results are shown in Figures 6 and 7 and Tables 1 and 2.

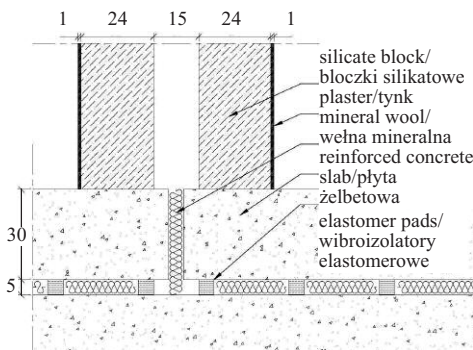


Fig. 1. Schematic cross-section through the wall under examination

Rys. 1. Schematyczny przekrój przez badaną ścianę

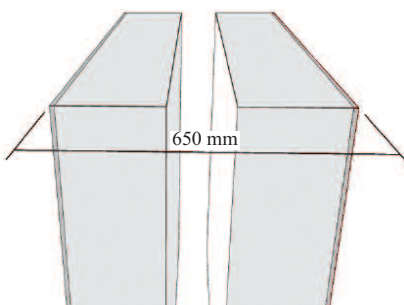


Fig. 2. Wall construction modelled in Insul software – no wool in the cavity

Rys. 2. Konstrukcja przegrody zamodelowanej w programie Insul – brak wełny w pustce

wełny mineralnej między ścianami (rysunki 2 i 3) oraz z wełną (rysunki 4 i 5).

Pomiary zostały przeprowadzone we wnętrzach pustych, bez wykończenia. Pełna dylatacja ścian oraz dostęp do szczeliny umożliwił wykonanie pomiarów porównawczych bez wełny mineralnej oraz z wełną mineralną w pustce między przegrodami. Badania izolacyjności akustycznej przeprowadzono zgodnie z PN-EN ISO 16283-1 [1] metodą ruchomego mikrofonu. Wskaźniki jednoliczbowe wyznaczono zgodnie z PN-EN ISO 717-1 [2]. Przy doborze punktów pomiarowych uwzględniono wytyczne zawarte w PN-EN ISO 16283 1 [1]. Czas pogłosu został zbadany zgodnie z PN-EN ISO 3382-2 [3] metodą szumu przerywanego w przypadku zakresu oceny krzywej zaniku 30 dB. Arytmetyczne uśrednianie wyników przeprowadzono dla min. pięciu krzywych zaniku.

Dane pomiarowe do wyznaczenia izolacyjności przegrody od dźwięków powietrznych oraz wyniki pomiaru przedstawiono na rysunkach 6 i 7 oraz w tabelach 1 i 2.

Comparison of results

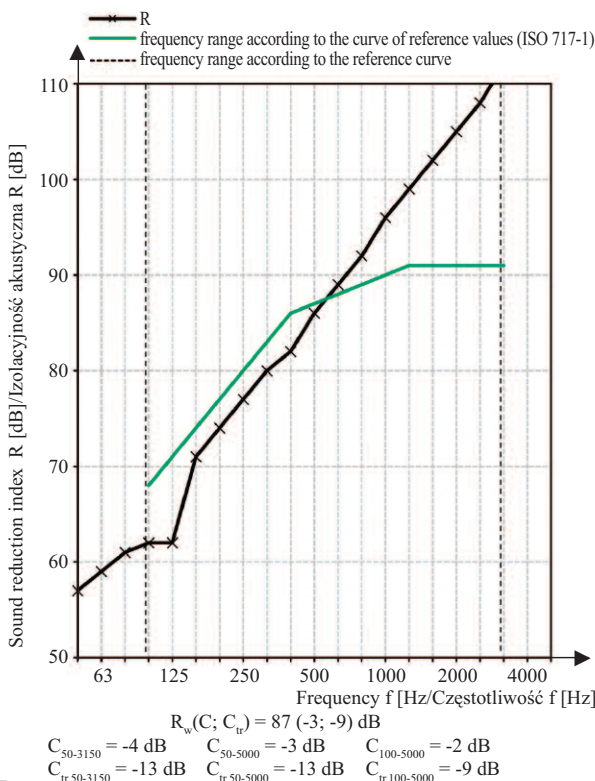
The results of the calculations were compared with the results of the acoustic measurements, and the difference between the values obtained from the calculations and those from the measurements was determined. The graphs show significant discrepancies in certain thirds, despite the fact that appropriate laboratory conditions were provided during the measurements. The rooms are fully decoupled from each other. The wall has been carefully constructed in accordance with the con-

Frequency/ Częstotliwość f [Hz]	R (one-third octave/1/3 oktawy) [dB]
50	57,0
63	59,0
80	61,0
100	62,0
125	62,0
160	71,0
200	74,0
250	77,0
315	80,0
400	82,0
500	86,0
630	89,0
800	92,0
1 000	96,0
1 250	99,0
1 600	102,0
2 000	105,0
2 500	108,0
3 150	112,0
4 000	115,0
5 000	118,0

Rating according to ISO 717-1/
Wskaźniki zgodne z ISO 717-1:
R'_{A,1} = 84 dB C_{50-3150} = -4 dB
R'_{A,2} = 84 dB C_{tr,50-3150} = -13 dB

Fig. 3. Insul software calculation results – no wool in the cavity

Rys. 3. Wyniki obliczeń w programie Insul – brak wełny w pustce



Porównanie wyników

Porównano wyniki obliczeń z wynikami pomiarów akustycznych i wyznaczono różnicę między wartościami otrzymanymi na podstawie obliczeń a wartościami z pomiarów. Z wykresów wynikają znaczne rozbieżności w określonych pasmach tercjowych pomimo zapewnienia odpowiednich warunków laboratoryjnych w trakcie wykonywania pomiarów. Pomieszczenia są w pełni oddylatowane między sobą. Ściana została wykonana w sposób staranny, zgodnie ze sztuką budowlaną. Zapra-

structional art. Mortar was used to fill the horizontal and vertical joints between the silicate blocks. The calculations assumed a material density in accordance with the technical sheets of the materials used. Possible indirect sound transmission, e.g. through room doors, was also excluded. For this purpose, additional measurements of the insulation between the rooms and the outside environment were carried out.

Figure 8 and Table 3 shows the results of calculations and measurements of sound insulation without mineral wool in the expansion joint, and Figure 9 and Table 4 shows the results when the joint was filled with mineral wool.

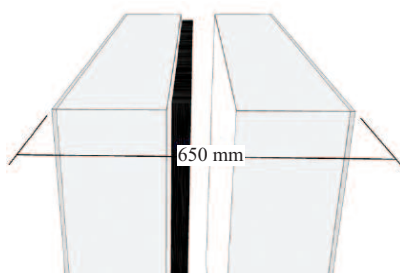


Fig. 4. Wall construction modelled in Insul software – added wool in the cavity

Rys. 4. Konstrukcja przegrody zamodelowanej w programie Insul – dodana wełna w pustce

wą wypełniono spoiny poziome oraz pionowe między bloczkami silikatowymi. W obliczeniach przyjęto gęstość zgodną z kartami technicznymi zastosowanych materiałów. Wykluczono również ewentualne przeniesienie dźwięku drogą pośrednią, np. przez drzwi pomieszczeń. W tym celu zostały wykonane dodatkowe pomiary izolacyjności między pomieszczeniami a środowiskiem zewnętrznym.

Rysunek 8 i tabela 3 przedstawiają wyniki obliczeń i pomiarów izolacyjności akustycznej w przypadku bez wełny mineralnej w szczelinie dylatacyjnej, a rysunek 9 i tabela 4 wyniki w sytuacji, kiedy szczelina była wypełniona wełną mineralną.

Analysis of potential causes of reduced insulation in specific one-third octave bands

Further analyses focused on the frequency range from 50 Hz to 500 Hz. In the mid-frequency range, the results obtained from the measurements coincide with the theoretical predictions. The significant differences occurring above the 1/3 octave band of 1 600 Hz, on the other hand, are due to the impossibility of providing a sufficient distance between the measurement signal and the background level in the room. This is due to the very high acoustic isolation of the baffle and the impossibility of generating a sufficiently high measurement signal level in the transmission room during the measurement. Therefore, in further considerations, the range above 1 600 Hz will be ignored.

The average deviation between calculated and measured values for the range 50 – 500 Hz is:

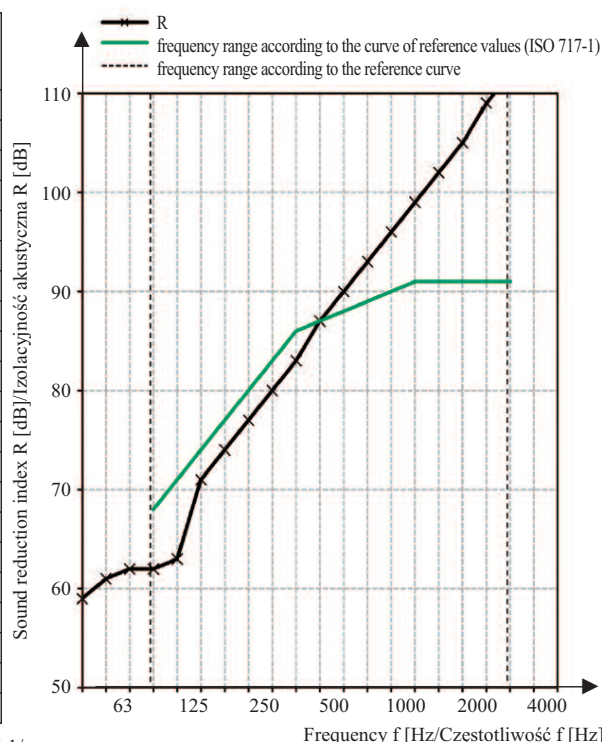
- -5,0 – in the wall without mineral wool;
- -5,4 – in the wall with mineral wool.

The largest deviations occur in the one-third octave band of 160 Hz and are -11.2 in both cases.

Frequency/ Częstotliwość f [Hz]	R (one-third octave/1/3 oktawy) [dB]
50	59,0
63	61,0
80	62,0
100	62,0
125	63,0
160	71,0
200	74,0
250	77,0
315	80,0
400	83,0
500	87,0
630	90,0
800	93,0
1 000	96,0
1 250	99,0
1 600	102,0
2 000	105,0
2 500	109,0
3 150	112,0
4 000	115,0
5 000	118,0

Rating according to ISO 717-1/
Wskaźniki zgodne z ISO 717-1:

$R'_{A,1} = 84$ dB $C_{50-3150} = -3$ dB
 $R'_{A,2} = 78$ dB $C_{tr,50-3150} = -11$ dB



$R_w(C; C_{tr}) = 87$ (-3; -9) dB
 $C_{50-3150} = -3$ dB $C_{50-5000} = -2$ dB $C_{100-5000} = -2$ dB
 $C_{tr,50-3150} = -11$ dB $C_{tr,50-5000} = -11$ dB $C_{tr,100-5000} = -9$ dB

Fig. 5. Insul software calculation results – added wool in the cavity

Rys. 5. Wyniki obliczeń w programie Insul – dodana wełna w pustce

Analiza potencjalnych przyczyn zmniejszania izolacyjności w poszczególnych pasmach tercjowych

Dalsze analizy dotyczyły przede wszystkim zakresu częstotliwości od 50 Hz do 500 Hz. W zakresie średnich częstotliwości wyniki otrzymane podczas pomiarów są zbliżone z przewidywaniami teoretycznymi. Znaczne różnice występujące powyżej tercji 1 600 Hz wynikają natomiast z braku możliwości zapewnienia wystarczającego odstępów sygnału pomiarowego od poziomu tła w pomieszczeniu. Wynika to z bardzo dużej izolacyjności akustycznej przegrody i braku możliwości

wygenerowania odpowiednio wysokiego poziomu sygnału pomiarowego w pomieszczeniu nadawczym podczas pomiaru. W związku z tym w dalszych rozważaniach zakres powyżej 1 600 Hz zostanie pominięty.

Średnie odchylenie między wartościami obliczonymi oraz zmierzonymi w przypadku zakresu 50 – 500 Hz wynosi:

- -5,0 – w ścianie bez wełny mineralnej;
- -5,4 – w ścianie z wełną mineralną.

Największe odchylenia występują w tercji 160 Hz i wynoszą -11,2 w obu przypadkach.

Zjawisko koincydencji występuje wtedy, gdy prędkość fali

The coincidence phenomenon occurs when the speed of a bending wave in a slab (partition) is equal to the component (parallel to the surface of the slab) of the speed of a sound wave incident on the slab at an angle θ [4]:

$$\frac{c}{\sin \theta} = c_g$$

The coincidence phenomenon affects the value of the board's input impedance [5], which in turn affects the sound insulation of the board (...), which is significantly affected by the internal damping coefficient of the board material [4].

If the board is in a diffuse wave field where all angles of incidence θ are possible, a reduction in isolation due to coincidence can occur over a fairly wide frequency band [4].

A significant reduction in the sound insulation of a partition occurs near the coincidence limit frequency, which can be calculated using the formula:

$$f_{gr} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (1)$$

where:

m – mass of the plate per unit area;
 B – cylindrical bending stiffness of the plate

whereby:

$$B = \frac{Eh^3}{12(1-\nu^2)} \quad (2)$$

where:

h – board thickness;
 E – modulus of elasticity (Young's);
 ν – Poisson's ratio.

Frequency/ Częstotliwość f [Hz]	R (one-third octave/1/3 oktawy) [dB]
50	48,3
63	57,8
80	55,6
100	60,3
125	60,4
160	59,8
200	65,8
250	67,9
315	75,8
400	80,4
500	84,3
630	87,9
800	90,2
1 000	91,4
1 250	92,5
1 600	93,8
2 000	90,8
2 500	90,4
3 150	91,1
4 000	93,5
5 000	95,4

Rating according to ISO 717-1/
 Wskaźniki zgodne z ISO 717-1:

$R'_{A,1} = 78$ dB $C_{50-3150} = -4$ dB
 $R'_{A,2} = 73$ dB $C_{tr,50-3150} = -12$ dB

Fig. 6. Results of airborne sound insulation measurement of completed wall – no wool in cavity

Rys. 6. Wyniki pomiaru izolacyjności od dźwięków powietrznych zrealizowanej przegrody – brak wełny w pustce

Frequency/ Częstotliwość f [Hz]	R (one-third octave/1/3 oktawy) [dB]
50	54,1
63	56,1
80	51,8
100	57,2
125	63,2
160	59,8
200	67,3
250	69,1
315	75,9
400	80,3
500	84,6
630	88,8
800	93,2
1 000	95,7
1 250	98,9
1 600	101,7
2 000	99,7
2 500	98,0
3 150	98,5
4 000	101,5
5 000	103,7

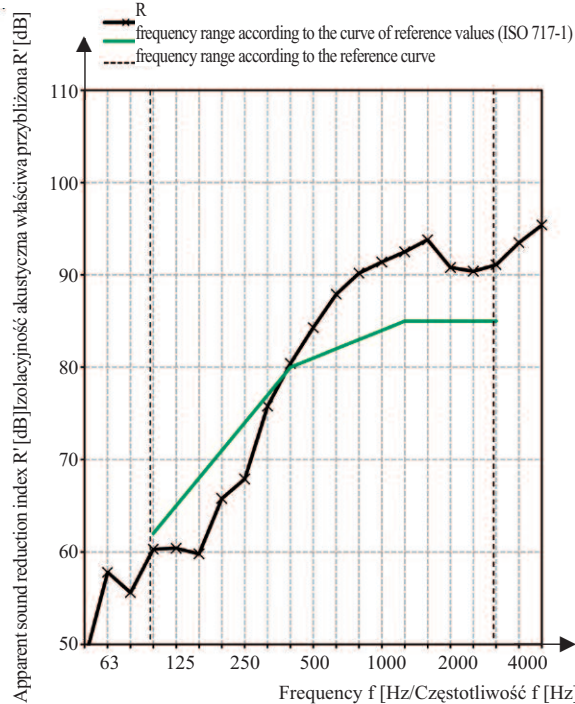
* $R' \geq$

Rating according to ISO 717-1/
 Wskaźniki zgodne z ISO 717-1:

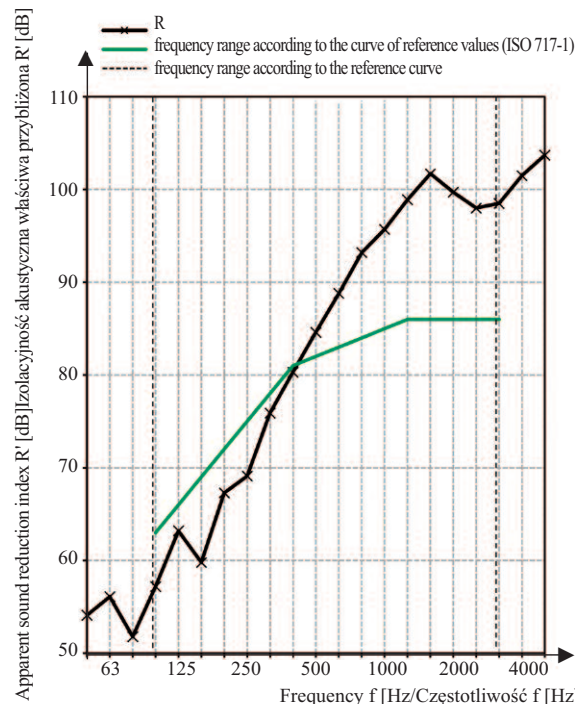
$R'_{A,1} = 79$ dB $C_{50-3150} = -4$ dB
 $R'_{A,2} = 73$ dB $C_{tr,50-3150} = -13$ dB

Fig. 7. Results of airborne sound insulation measurement of completed wall – added wool in cavity

Rys. 7. Wyniki pomiaru izolacyjności od dźwięków powietrznych zrealizowanej przegrody – dodana wełna w pustce



$R_w(C; C_{tr}) = 81$ (-3; -8) dB
 $C_{50-3150} = -4$ dB $C_{50-5000} = -3$ dB $C_{100-5000} = -2$ dB
 $C_{tr,50-3150} = -12$ dB $C_{tr,50-5000} = -12$ dB $C_{tr,100-5000} = -8$ dB



$R_w(C; C_{tr}) = 81$ (-3; -9) dB
 $C_{50-3150} = -4$ dB $C_{50-5000} = -3$ dB $C_{100-5000} = -2$ dB
 $C_{tr,50-3150} = -13$ dB $C_{tr,50-5000} = -13$ dB $C_{tr,100-5000} = -9$ dB

giętej w płycie (przegrodzie) jest równa składowej (równoległej do powierzchni płyty) prędkości fali dźwiękowej padającej na płytę pod kątem θ [4]:

$$\frac{c}{\sin \theta} = c_g$$

Zjawisko koincydencji wpływa na wartość impedancji wejściowej płyty [5], co z kolei rzutuje na izolacyjność akustyczną płyty (...), która ulega znacznemu pogorszeniu zależnie od współczynnika tłumienia wewnętrzznego materiału płyty [4].

Jeżeli płyta znajduje się w polu fali rozproszonej, gdzie możliwe są wszystkie kąty padania θ , zmniejszenie izolacyjności w wyniku zjawiska koincydencji może wystąpić w dość szerokim paśmie częstotliwości [4].

Znaczne zmniejszenie izolacyjności akustycznej przegrody występuje w pobliżu częstotliwości granicznej koincydencji, którą można obliczyć, korzystając ze wzoru:

$$f_{gr} = \frac{c^2}{2\pi} \sqrt{\frac{m}{B}} \quad (1)$$

gdzie:

m – masa płyty przypadająca na jednostkę powierzchni;
 B – sztywność płyty na zginanie walcowe

Table 1. Measurement data for the determination of airborne sound insulation of a wall – no wool in the cavity

Tabela 1. Dane pomiarowe do wyznaczenia izolacyjności od dźwięków powietrznych przegrody – brak wełny w pustce

f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L ₁ [dB]	78,2	84	87,8	86,8	93,1	97,9	104,2	106,1	103,8	101,9	100,3	98,9	98,3	98,1	97,9	100,9	99,7	98,2	100,5	104,7	108,1
L _{2sb} [dB]	39,4	38,1	43	37,2	42,1	46,9	46,7	45,6	35,1	28,5	23,1	18,2	14,9	13,3	12	13	14,6	13,8	14,8	15,8	16,7
L _b [dB]	17,1	15,5	9,1	10,3	5,4	4,2	3,9	3,9	2,9	2,9	3,9	3,5	3,6	4,1	4,5	5,3	6,6	6,9	7,8	8,6	9,6
T [s]	7,7	11,6	10,9	11,2	7,7	6,8	5,9	4,9	4,5	4,4	4,6	4,6	4,1	3,7	3,5	3,3	3,1	3	2,6	2,2	1,9
R' [dB]	48,3	57,8	55,6	60,3	60,4	59,8	65,8	67,9	75,8	80,4	84,3	87,9	90,2	91,4	92,5	93,8	90,8	90,4	91,1	93,5	95,4

Explanations/Objaśnienia:

L₁ – average sound pressure level in the transmission room/średni poziom ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu nadawczym; L_{2sb} – sound pressure level of the signal and the background noise in the receiving room/średni poziom ciśnienia akustycznego sygnału i tła akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym; L_b – background sound pressure level in the receiving room/poziom ciśnienia tła akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym; T – reverberation time/czas pogłosu

Table 2. Measurement data for the determination of airborne sound insulation of a wall – added wool in the cavity

Tabela 2. Dane pomiarowe do wyznaczenia izolacyjności od dźwięków powietrznych przegrody – dodana wełna w pustce

f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L ₁ [dB]	78,4	83,2	86,8	86,4	95,4	98,9	105,3	107,1	104	102,7	101	99,8	99	98,5	99,1	102,1	100,2	98,7	100,7	105,2	109,0
L _{2sb} [dB]	34,1	37,4	46,9	39,4	41,5	47,8	46,2	45,4	35,3	29,4	23,5	18,2	13	10,3	7,3	7,4	7,3	7,3	8,2	8,9	10,0
L _b [dB]	17,1	15,5	9,1	10,3	5,4	4,2	3,9	3,9	2,9	2,9	3,9	3,5	3,6	4,1	4,5	5,3	6,6	6,9	7,8	8,6	9,6
T [s]	7,7	11,6	10,9	11,2	7,7	6,8	5,9	4,9	4,5	4,4	4,6	4,6	4,1	3,7	3,5	3,3	3,1	3	2,6	2,2	1,9
R' [dB]	54,1	56,1	51,8	57,2	63,2	59,8	67,3	69,1	75,9	80,3	84,6	88,8	93,2	95,7	98,9	101,7	99,7	98	98,5	101,5	103,7

Explanations: table 1/Objaśnienia: jak w tabeli 1

Using formulae (1) and (2), the limiting frequency of a 24 cm thick silicate block partition with a density of 1 860 kg/m³. Data adopted for the calculations: h = 0,24 m; m = 470 kg/m²; E = 8 GPa; ν = 0,25. The calculated limit frequency is 129 Hz. The reduction in sound insulation in the vicinity of this frequency can be seen in the graphs showing the results of the calculations carried out in Insul (Fig. 3, Fig. 5), which translates into theoretical considerations. However, this relationship is not apparent in the results from measurements taken under real conditions (Fig. 6, Fig. 7).

The data of silicate blocks adopted in the calculations are catalogue values, declared by the manufacturer. However, depending on the product batch and the type of mortar used, these values may vary. The most variable and at the same time significantly influencing the calculation results is the value of the modulus of elasticity. Depending on the type and thickness of the adhesive mortar, this value can range from 4.8 GPa to 9.6 GPa. This means that the limiting frequency under real conditions is in the range 118 Hz – 167 Hz.

Modal analysis. The condition in which standing waves exist in a room is called the acoustic resonance of the room. The solution of the wave equation in the resonance state is the amplitudes of the standing waves of successive orders, the position of the nodes

przy czym:

$$B = \frac{Eh^3}{12(1 - \nu^2)} \quad (2)$$

gdzie:

h – grubość płyty; E – moduł sprężystości (Younga); ν – współczynnik Poissona.

Wykorzystując wzory (1) i (2), obliczono częstotliwość graniczną przegrody z bloczków silikatowych o grubości 24 cm i gęstości 1 860 kg/m³. Przyjęte dane do obliczeń: h = 0,24 m; m = 470 kg/m²; E = 8 GPa; ν = 0,25. Obliczona częstotliwość graniczna wynosi 129 Hz. Zmniejszenie izolacyjności akustycznej w okolicy tej częstotliwości można zaobserwować na wykresach przedstawiających wyniki obliczeń przeprowadzonych w programie Insul (rysunki 3 i 5), co przekłada się na rozważania teoretyczne. Nie widać jednak tej zależności w przypadku wyników z pomiarów wykonanych w warunkach rzeczywistych (rysunki 6 i 7).

Przyjęte w obliczeniach dane bloczków silikatowych są wartościami katalogowymi, deklarowanymi przez producenta. W zależności od partii produktu oraz rodzaju użytej zaprawy, wartości te mogą się jednak różnić. Najbardziej zmienna i jednocześnie mająca znaczny wpływ na wyniki obliczeń jest wartość modułu sprężystości. W zależności od rodzaju i grubości zaprawy klejącej, wartość ta może wynosić 4,8 – 9,6 GPa. Oznacza to, że częstotliwość graniczna w warunkach rzeczywistych mieści się w zakresie 118 – 167 Hz.

Analiza modalna. Stan, w którym w pomieszczeniu istnieją fale stojące, nosi nazwę rezonansu akustycznego pomieszczenia. Rozwiązaniem

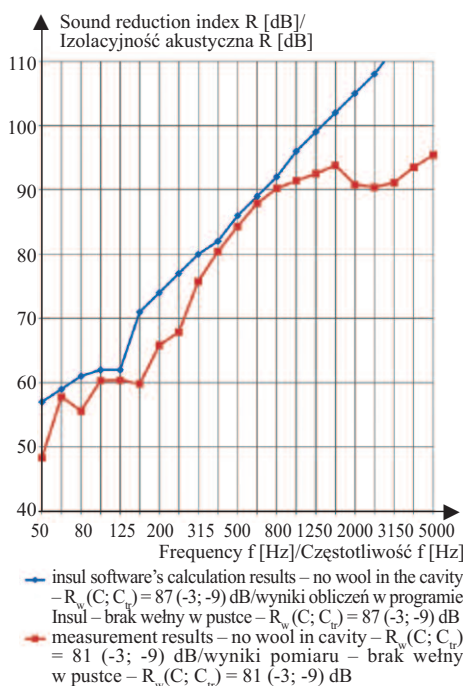


Fig. 8. Comparison of results – no wool in the void
Rys. 8. Porównanie wyników – brak wełny w pustce

Table 3. Comparison of results: R – calculated acoustic insulation; R' – acoustic insulation based on measurements; ΔR – difference between calculated and measured acoustic insulation – (no wool in the void)

Tabela 3. Porównanie wyników: R – obliczona izolacyjność akustyczna; R' – izolacyjność wyznaczona na podstawie pomiarów, ΔR – różnica pomiędzy izolacyjnością obliczoną a wyznaczoną na podstawie pomiarów – (brak wełny w pustce)

f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Calculations/ Obliczenia R [dB]	57,0	59,0	61,0	62,0	62,0	71,0	74,0	77,0	80,0	82,0	86,0	89,0	92,0	96,0	99,0	102,0	105,0	108,0	112,0	115,0	118,0
Measurement/ Pomiar R' [dB]	48,3	57,8	55,6	60,3	60,4	59,8	65,8	67,9	75,8	80,4	84,3	87,9	90,2	91,4	92,5	93,8	90,8	90,4	91,1	93,5	95,4
ΔR [dB]	-8,7	-1,2	-5,4	-1,7	-1,6	-11,2	-8,2	-9,1	-4,2	-1,6	-1,7	-1,1	-1,8	-4,6	-6,5	-8,2	-14,2	-17,6	-20,9	-21,5	-22,6

and arrows of these waves in the room and the frequencies [6].

As a further analysis of the results, the standing wave distribution in the transmitting and receiving rooms was simulated. The models were made in the Akabak software version 3.2.2 b118. It performs calculations using the Boundary Element Method and allows visualisation of the sound pressure level distribution on the wall surfaces. The purpose is to verify the distribution of the sound field in the transmitting and receiving rooms, with particular emphasis on frequencies where the measurements show a significant reduction in sound insulation.

Transmission room. Figure 10 shows the modelling results obtained in the broadcast room. The analysed partition is marked in green in the figure at 74 Hz. The modelling results showed that the mode occurring in the room generate areas of elevated sound pressure levels in the central part of the analysed baffle at 80 Hz, 96 Hz, 118 Hz and 126 Hz. One theory considered suggested that the increased sound pressure occurring in the central part of the baffle may excite the baffle beyond the resonant frequencies and cause a significant reduction in sound insulation in a narrow frequency band. This would explain the large decrease in isolation at 80 Hz. However, this effect occurs at other frequencies (96, 118, 126) in the vicinity of which there are no areas of reduced sound insulation. The results do not unequivocally confirm a significant negative effect of the mod

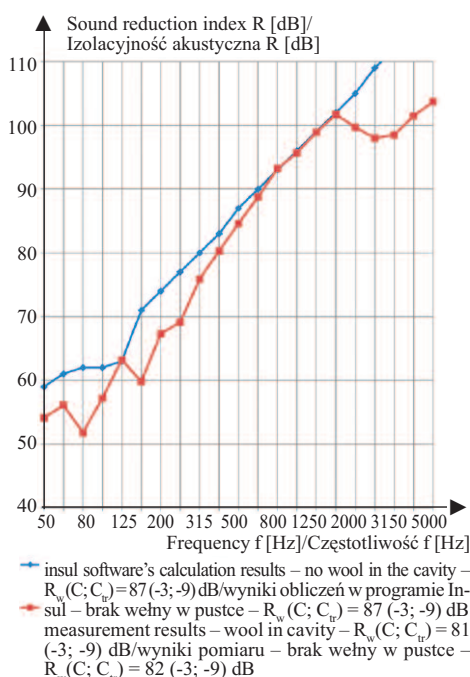


Fig. 9. Comparison of results – wool in the void
Rys. 9. Porównanie wyników – wełna w pustce

została oznaczona zielonym kolorem na rysunku przy częstotliwości 74 Hz. Wyniki modelowania wykazały, że występujące w pomieszczeniu mody generują obszary podwyższonego poziomu ciśnienia akustycznego w środkowej części analizowanej przegrody przy częstotliwościach 80, 96, 118 oraz 126 Hz. Jedna z rozważanych teorii sugerowała, że podwyższone ciśnienie akustyczne występujące w środkowej części przegrody może pobudzać ją do drgania poza częstotliwościami rezonansowymi i powodować znaczne zmniejszenie izolacyjności akustycznej w wąskim paśmie częstotliwości.

Table 4. Comparison of results: R – calculated acoustic insulation; R' – acoustic insulation based on measurements; ΔR – difference between calculated and measured acoustic insulation – (wool in the void)

Tabela 4. Porównanie wyników: R – obliczona izolacyjność akustyczna; R' – izolacyjność akustyczna wyznaczona na podstawie pomiarów; ΔR – różnica pomiędzy izolacyjnością obliczoną a wyznaczoną na podstawie pomiarów – (wełna w pustce)

f [Hz]	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
Calculation/ Obliczenia R [dB]	59,0	61,0	62,0	62,0	63,0	71,0	74,0	77,0	80,0	83,0	87,0	90,0	93,0	96,0	99,0	102,0	105,0	109,0	112,0	115,0	118,0
Measurement/ Pomiar R' [dB]	54,1	56,1	51,8	57,2	63,2	59,8	67,3	69,1	75,9	80,3	84,6	88,8	93,2	95,7	98,9	101,7	99,7	98,0	98,5	101,5	103,7
ΔR [dB]	-4,9	-4,9	-10,2	-4,8	0,2	-11,2	-6,7	-7,9	-4,1	-2,7	-2,4	-1,2	0,2	-0,3	-0,1	-0,3	-5,3	-11,0	-13,5	-13,5	-14,3

distribution in the transmission room on the resultant sound insulation of the partition.

Receiving room. Measurements of the sound pressure level in the receiving room were made using the moving microphone method. The movement radius of the microphone was approximately 80 cm. The measurement was performed at an average height of 150 cm. This means that the measurement height varied from 70 cm to 230 cm. The receiving points were randomly distributed over the entire floor area of the room.

Figure 11 shows the results of the modal analysis in the receiving room on planes placed at heights of 110 cm, 150 cm and 190 cm above the floor. The analysis of the results obtained does not show that the room modalities have any influence on the sound pressure level measurements in the receiving room and thus on the resultant sound insulation of the partition.

Summary

The article compares the results of calculations of acoustic insulation of a double wall made of silicate blocks with the results of measurements carried out in conditions similar to those in the laboratory.

The results of calculations of wall variants without and with mineral wool in the cavity carried out in the Insul programme are presented, as well as the results of measurements of acoustic insulation of the same variants. The sound insulation values obtained were then compared with each other in the

Wyjaśniałoby to duży spadek izolacyjności w przypadku częstotliwości 80 Hz. Efekt ten występuje jednak przy innych częstotliwościach (96, 118, 126), w pobliżu których nie występują obszary obniżonej izolacyjności akustycznej. Otrzymane wyniki nie potwierdzają w sposób jednoznaczny znacznego, negatywnego wpływu rozkładu modów w pomieszczeniu nadawczym na wypadkową izolacyjność akustyczną przegrody.

Pomieszczenie odbiorcze. Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym wykonywane były metodą mikrofonu ruchomego. Promień ruchu mikrofonu wynosił ok. 80 cm. Pomiar wykonywany był na średniej wysokości 150 cm. Oznacza to, że wysokość pomiaru zmieniała się od 70 cm do 230 cm. Punkty odbiorcze rozmieszczone były w sposób losowy na całej powierzchni podłogi pomieszczenia.

Na rysunku 11 przedstawiono wyniki analizy modalnej w pomieszczeniu odbiorczym na płaszczyznach umieszczonych na wysokości 110 cm, 150 cm oraz 190 cm nad podłogą. Analiza otrzymanych wyników nie wykazała, aby mody pomieszczenia miały wpływ na pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w pomieszczeniu odbiorczym, a co za tym idzie na wypadkową izolacyjność akustyczną przegrody.

Podsumowanie

W artykule porównano wyniki obliczeń izolacyjności akustycznej podwójnej przegrody z bloczków silikatowych z wynikami pomiarów wykonanych w warunkach zbliżonych do la-

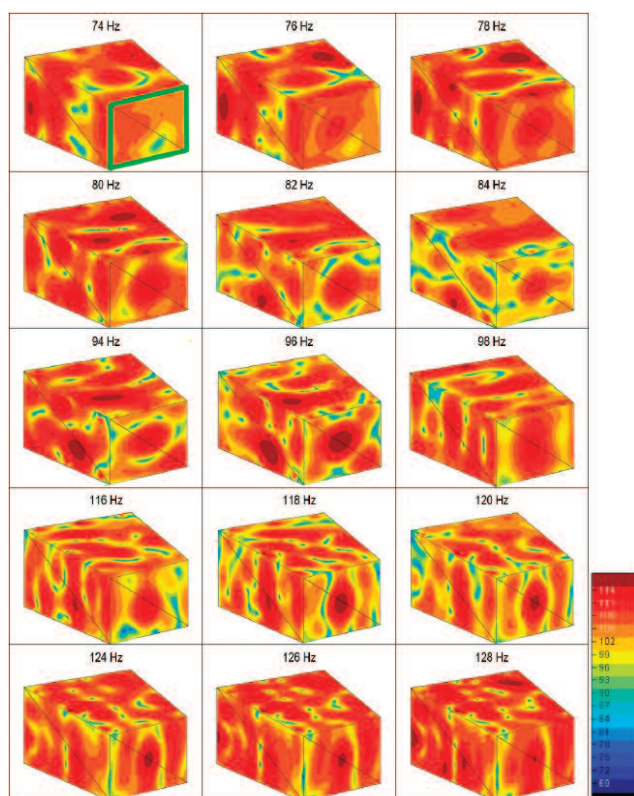


Fig. 10. Akabak software simulation results of sound pressure level distribution for selected frequencies – transmitting room

Rys. 10. Wyniki symulacji rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego w programie Akabak dla wybranych częstotliwości – pomieszczenie nadawcze

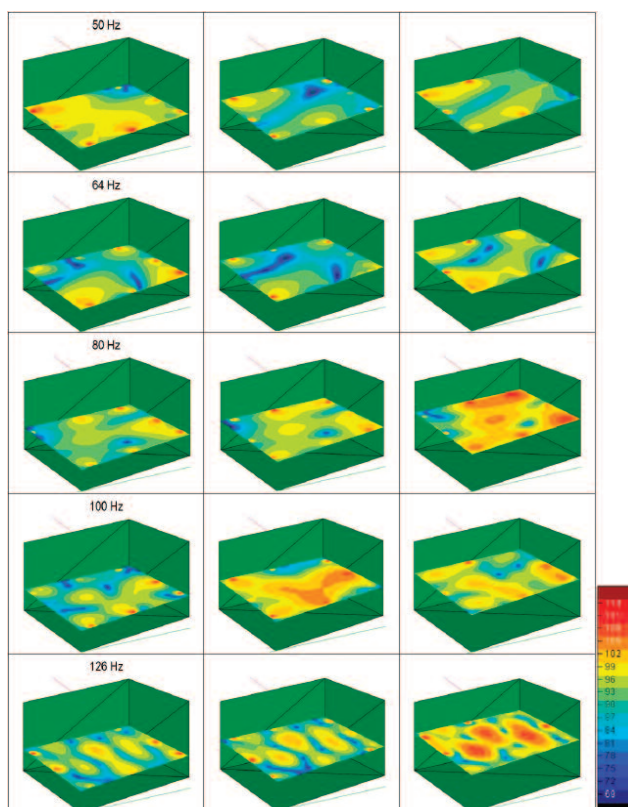


Fig. 11. Akabak software simulation results of sound pressure level distribution for selected frequencies – receiving room

Rys. 11. Wyniki symulacji rozkładu poziomu ciśnienia akustycznego w programie Akabak dla wybranych częstotliwości – pomieszczenie odbiorcze

one-third octave frequency bands. An attempt was made to explain the discrepancies in sound insulation in the low frequency range. This was particularly the case at frequencies where a significant decrease in the measured sound insulation values was evident.

The limiting frequencies of the analysed partition were calculated, with particular attention paid to possible inconsistencies related to the choice of building materials. The results obtained are compared with the sound insulation values obtained by calculation and measurement.

In the range of the lowest frequencies, the possible influence of mods in the measurement rooms on the actual measured values was verified.

Despite careful control of the partition's workmanship and the almost laboratory-like measurement conditions during the sound insulation test, the results obtained differ from the values calculated at the design stage.

Significantly, the difference is in the low frequency range. Particularly noticeable is the shift in the cut-off frequency relative to the theoretical calculation from 125 Hz to 160 Hz. Due to the coincidence phenomenon near the cut-off frequency, there is a significant reduction in the partition sound insulation, which, in combination with the frequency shift, has a significant effect on the resultant sound insulation performance.

It is most likely that the difference regarding the limiting frequency is related to the type and thickness of the adhesive mortar used for the silicate blocks. Theoretically, depending on the type and thickness of the adhesive mortar, the limiting frequency can range from 118 to 167 Hz. This means that the limiting frequency can be 160 Hz.

A large decrease in sound insulation also occurs at 80 Hz. On the basis of the modal analysis of the interiors of the measurement rooms, the influence of non-uniformity of the distribution of the sound pressure level in the interiors on the measured values of sound insulation was excluded.

Received: 25.10.2024

Revised: 19.11.2024

Published: 20.12.2024

laboratoryjnych. Zostały przedstawione wyniki obliczeń wariantów ściany bez wełny mineralnej w pustce oraz z wełną przeprowadzonych w programie Insul, a także wyniki pomiarów izolacyjności akustycznej takich samych wariantów. Następnie otrzymane wartości izolacyjności akustycznej porównano ze sobą w tercjowych pasmach częstotliwości. Podjęto próbę objaśnienia występujących rozbieżności dotyczących izolacyjności akustycznej w zakresie małych częstotliwości. Dotyczyło to przede wszystkim częstotliwości, w przypadku których widoczny był znaczny spadek wartości zmierzonych izolacyjności akustycznej.

Obliczono częstotliwości graniczne analizowanej przegrody ze szczególnym uwzględnieniem możliwych niezgodności związanych z doborem materiałów budowlanych. Otrzymane wyniki porównano z wartościami izolacyjności akustycznej uzyskanej obliczeniowo oraz pomiarowo. W zakresie najmniejszych częstotliwości został zweryfikowany ewentualny wpływ modów w pomieszczeniach pomiarowych na wartości zmierzone w rzeczywistości.

Pomimo dokładnej kontroli jakości wykonania przegrody oraz zapewnienia niemal laboratoryjnych warunków pomiarowych podczas badania izolacyjności akustycznej, otrzymane wyniki różnią się od wartości obliczonych na etapie projektowym. W istotny sposób różnica dotyczy zakresu małych częstotliwości. Szczególnie widać przesunięcie częstotliwości granicznej względem obliczeń teoretycznych z 125 na 160 Hz. Z powodu występowania zjawiska koincydencji w pobliżu częstotliwości granicznej występuje znaczne zmniejszenie izolacyjności akustycznej przegrody, co w połączeniu z przesunięciem częstotliwości rzutuje w istotny sposób na wypadkową izolacyjność akustyczną.

Najprawdopodobniej różnica dotycząca częstotliwości granicznej związana jest z rodzajem i grubością zaprawy klejącej wykorzystanej do murowania bloczków silikatowych. Teoretycznie, w zależności od rodzaju i grubości zaprawy klejącej, częstotliwość graniczna może mieścić się w zakresie od 118 do 167 Hz. Oznacza to, że częstotliwość graniczna może wynosić 160 Hz. Duży spadek izolacyjności akustycznej występuje również w przypadku częstotliwości 80 Hz. Na podstawie analizy modalnej wewnątrz pomieszczeń pomiarowych wykluczono wpływ nierównomierności rozkładu poziomego ciśnienia akustycznego we wnętrzach na wyznaczone z pomiarów wartości izolacyjności akustycznej.

Artykuł wpłynął do redakcji: 25.10.2024 r.

Otrzymano poprawiony po recenzjach: 19.11.2024 r.

Opublikowano: 20.12.2024 r.

Literature

[1] PN-EN ISO 16283-1:2014:05 Akustyka. Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.

[2] PN-EN ISO 717-1:2013-08 Akustyka. Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych. Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych.

[3] PN-EN ISO 3382-2:2010 Akustyka. Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń. Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach.

[4] Sadowski J. Akustyka architektoniczna, PWN, Warszawa, 1976.

[5] Malecki I. Teoria fal i układów akustycznych, PWN, Warszawa, 1964.

[6] Kulowski A. Akustyka sal, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej, Gdańsk 2011.