

dr inż. Marcelina Olechowska^{1*)}

ORCID: 0000-0001-6112-8460

dr hab. inż. Artur Nowoświat, prof. Pol. Śl.¹⁾

ORCID: 0000-0002-0277-7388

dr inż. Michał Marchacz¹⁾

ORCID: 0000-0003-3275-1960

dr inż. Rafał Żuchowski¹⁾

ORCID: 0000-0002-0110-0500

Adaptation of educational facilities for the purpose of measuring innovative air conditioning and ventilation systems

Adaptacja obiektów dydaktycznych do celów pomiarów innowacyjnych systemów klimatyzacyjno-wentylacyjnych

DOI: 10.15199/33.2025.08.20

Abstract. The article presents an acoustic analysis of a model research room, designed and constructed as part of the infrastructure of the Faculty of Environmental Engineering at the Silesian University of Technology in Gliwice. The facility was built as a lightweight steel structure filled with sandwich panels, located inside a measurement and research hall, which allowed for the elimination of environmental noise and provided optimal conditions for conducting measurements in a low acoustic background. Based on design documentation and manual measurements, a three-dimensional geometric model of the room was created using Odeon Acoustics software. Acoustic simulations were carried out based on this model, with actual material parameters assigned. To verify the model, in situ measurements were conducted using a point sound source and six receiving points. The results obtained from the computer simulations showed very high agreement with the measurement data, confirming the accuracy of reproducing real conditions in the simulation environment.

Keywords: reverberation time RT; Speech Transmission Index STI; model validation.

Streszczenie. W artykule przedstawiono analizę akustyczną modelowego pomieszczenia badawczego, zaprojektowanego i wykonanego w ramach infrastruktury Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Obiekt został zrealizowany jako lekka konstrukcja stalowa, z wypełnieniem z płyt warstwowych, umiejscowiona wewnątrz hali pomiarowo-badawczej, co pozwoliło na eliminację wpływu hałasu środowiskowego oraz zapewniło optymalne warunki do prowadzenia pomiarów w niskim tle akustycznym. Na podstawie dokumentacji projektowej i obmiarów ręcznych wykonano trójwymiarowy model geometryczny pomieszczenia w programie Odeon Acoustics i przeprowadzono symulacje akustyczne, którym przypisano rzeczywiste parametry materiałowe. W celu weryfikacji modelu wykonano pomiary in situ z zastosowaniem punktowego źródła dźwięku oraz sześciu punktów odbiorczych. Wyniki uzyskane w ramach symulacji komputerowej wykazały bardzo dużą zgodność z danymi pomiarowymi, co potwierdziło dokładność odwzorowania warunków rzeczywistych w środowisku symulacyjnym.

Słowa kluczowe: czas pogłosu RT; wskaźnik transmisji mowy STI; walidacja modelu.

The issue of reverberation time in classrooms has been thoroughly described in [1]. The most important parameters affecting the perception of speech in classrooms include: reverberation time RT [2, 3] and speech transmission index [4, 5]. The authors have also repeatedly addressed this issue in various types of rooms [6]. Excessively long reverberation time RT contributes to a deterioration in speech intelligibility and an increase in reverberation noise, which in turn can affect the mental and physical condition of students and teachers [7]. A model room, measuring 9×6×3.0 or 3.5 m and with a maximum volume of 189 m³, served as a base for testing the impact of various spatial adaptations on the acoustic parameters of the interior. As part of the subsequent work, acoustic adaptations were carried out, consisting of the installation of a suspended ceiling, equipping the room with

problematyka czasu pogłosu w salach szkolnych została dokładnie opisana w [1]. Do najważniejszych parametrów wpływających na odbiór dźwięku słownego w klasach szkolnych należą: czas pogłosu RT [2, 3] oraz wskaźnik transmisji mowy [4, 5]. Również Autorzy wielokrotnie zajmowali się tym zagadnieniem w różnego rodzaju pomieszczeniach [6]. Zbyt długi czas pogłosu RT przyczynia się do pogorszenia zrozumiałości mowy oraz zwiększenia hałasu pogłosowego, a co za tym idzie może wpływać na kondycję psychofizyczną uczniów i nauczycieli [7]. Modelowe pomieszczenie, o wymiarach 9×6×3,0 lub 3,5 m i kubaturze maksymalnej 189 m³, służyło jako baza do testowania wpływu różnych adaptacji przestrzennych na parametry akustyczne wnętrza. W ramach kolejnych prac przeprowadzono adaptacje akustyczne, polegające na zastosowaniu podwieszanego sufitu, wyposażeniu pomieszczenia w ławki z manekinami oraz zawieszeniu materiałów dźwiękochłonnych. Prace te były z jednej strony ukierunkowane na optymalizację po-

¹⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

^{*)} Correspondence address: marcelina.olechowska@polsl.pl

benches with mannequins and hanging sound-absorbing materials. On the one hand, this work was aimed at optimising reverberation in order to meet the standard requirements for this type of room, and at the same time, it was carried out in accordance with NCBIR guidelines, primarily related to ensuring low background noise.

Description of the object

The object in question was created as a model room made of a light steel structure filled with sandwich panels and located inside the measurement and research hall of the Faculty of Engineering and Environment at the Silesian University of Technology in Gliwice (photo 1). This location ensured separation from environmental noise and maximised the effect of low acoustic background. The dimensions of the model room were 9 x 6 x 3.0 or 3.5 m, and the volume of the highest room was 189 m³ (photo 2). The base model of the educational room (S0), intended for testing ventilation and

głosu, tak aby zbliżyć się do wymagań normowych dotyczących tego typu pomieszczeń, a jednocześnie realizowane pod kątem spełnienia wytycznych NCBIR, związanych przede wszystkim z zapewnieniem niskiego tła akustycznego.

Opis obiektu

Rozpatrywany obiekt stworzono jako modelowe pomieszczenie wykonane w konstrukcji lekkiej stalowej z wypełnieniem płytami warstwowymi i umiejscowione wewnątrz hali pomiarowo-badawczej Wydziału Inżynierii i Środowiska Politechniki Śląskiej w Gliwicach (fotografia 1). Takie umiejscowienie gwarantowało oddzielenie od hałasu środowiskowego i zmaksymalizowanie efektu niskiego tła akustycznego. Wymiary modelowego pomieszczenia wynosiły 9 x 6 x 3,0 lub 3,5 m, a kubatura najwyższego pomieszczenia 189 m³ (fotografia 2). Bazowy model pomieszczenia sali edukacyjnej (S0), o przeznaczeniu do prowadzenia badań testowych urządzeń wentylacyjnych i grzewczo-chłodzących poddano trzem



Photo 1. Interior of the measurement and research hall with a model of the room

Fot. 1. Wnętrze hali pomiarowo-badawczej z modelem pomieszczenia

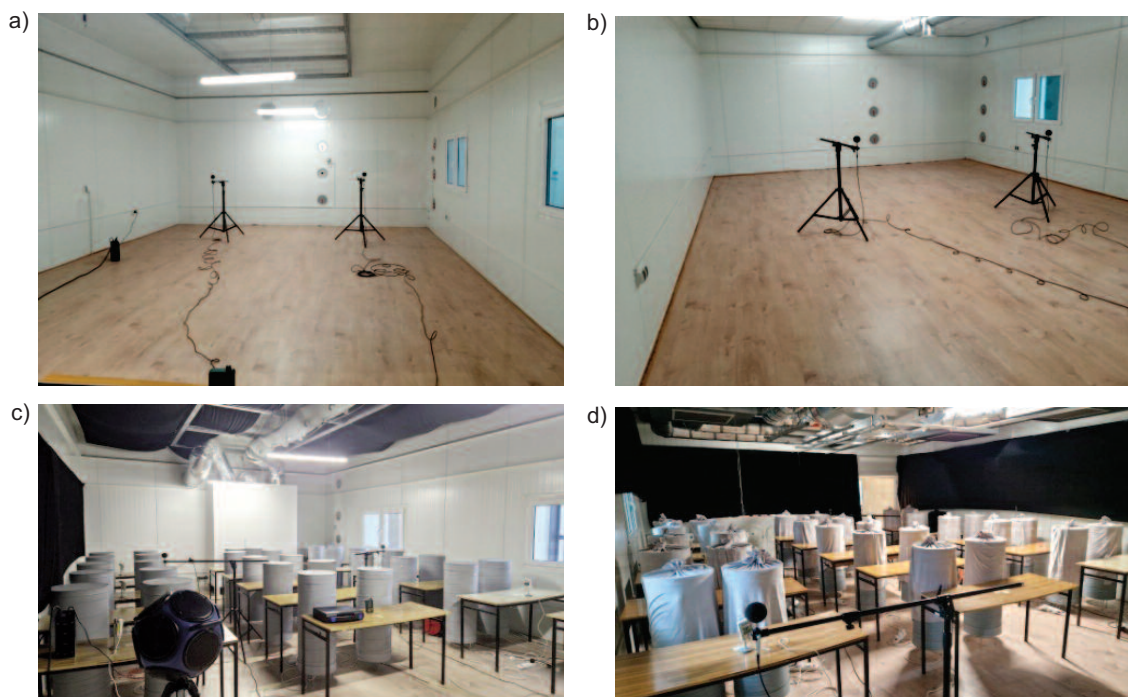


Photo 2. Adaptations of the model room: a) base room (S0); b) room with suspended ceiling (S1); c) room (S2); d) room (S3)

Fot. 2. Adaptacje modelowego pomieszczenia: a) pomieszczenie bazowe (S0); b) pomieszczenie z podwieszonym sufitem (S1); c) pomieszczenie (S2); d) pomieszczenie (S3)

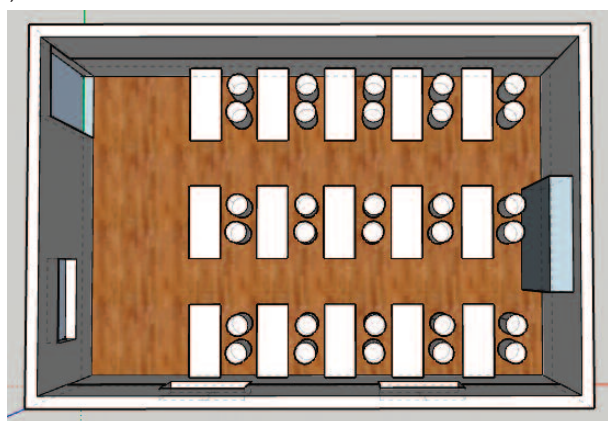
heating/cooling devices, underwent three adaptations. In the first stage, a suspended ceiling was installed at a height of 3.0 m (S1). Next, benches with mannequins and an installation bus were set up in the base room, and velour material was hung on one side wall and part of the ceiling (S2). The third adaptation consisted of hanging additional material on the front and side walls and covering the mannequins with material (S3).

Computer model of the object

Based on manual measurements, design documentation and as-built documentation, a computer model of the interior of the facility in question was created in the Odeon Acoustics programme [8]. The designed base model of the room (S0) was used to perform all computer simulations (S1, S2, S3). Material parameters for individual surfaces were assigned to the geometric model of the room, taking into account sound absorption characteristics in octave frequency bands (Table 1). The sound absorption coefficient values were taken from the ODEON database [8, 9], and the climatic conditions in the actual room were as follows: temperature of 20°C; relative humidity of 40%.

Next, sound source P1 and reception points (1-6) were introduced into the model, replicating the layout used during the in situ measurements. Sound source P1 was located in the centre of the room, 1.5 m from the wall and at a height of 1.50 m. The measurement points (1-6) were placed at a height of 1.2 m, and their arrangement is shown in Figure 1.

a)



adaptacjom. W pierwszym etapie zamontowano podwieszany sufit na wysokości 3,0 m (S1). Następnie w pomieszczeniu bazowym ustawiono ławki z manekinami i magistralą instalacyjną oraz na jednej ścianie bocznej i części sufitu zawieszono materiał welurowy (S2). Trzecia adaptacja polegała na zawieszeniu dodatkowego materiału na ścianie przedniej oraz bocznej i przykryciu materiałem manekinów (S3).

Model komputerowy obiektu

Na podstawie obmiarów ręcznych, dokumentacji projektowej i powykonawczej stworzono model komputerowy wnętrza rozpatrywanego obiektu w programie Odeon Acoustics [8]. Zaprojektowany bazowy model pomieszczenia (S0) posłużył do wykonania wszystkich symulacji komputerowych (S1, S2, S3). Do modelu geometrycznego pomieszczenia przypisano parametry materiałowe dotyczące poszczególnych powierzchni, uwzględniające charakterystyki pochłaniania dźwięku w pasmach częstotliwości oktaowych (tabela 1). Wartości współczynników pochłaniania dźwięku przyjęto z bazy danych programu ODEON [8, 9], a warunki klimatyczne panujące w pomieszczeniu rzeczywistym były następujące: temperatura na poziomie 20°C; wilgotność względna 40%.

Następnie w modelu wprowadzono źródło dźwięku P1 oraz punkty odbioru (1-6), odwzorowując układ zastosowany w trakcie pomiarów in situ. Źródło dźwięku P1 zostało zlokalizowane na środku pomieszczenia, w odległości 1,5 m od ściany i usytuowane na wysokości 1,50 m. Punkty pomiarowe (1-6) umieszczono na wysokości 1,2 m, a ich rozmieszczenie przedstawiono na rysunku 1.

b)

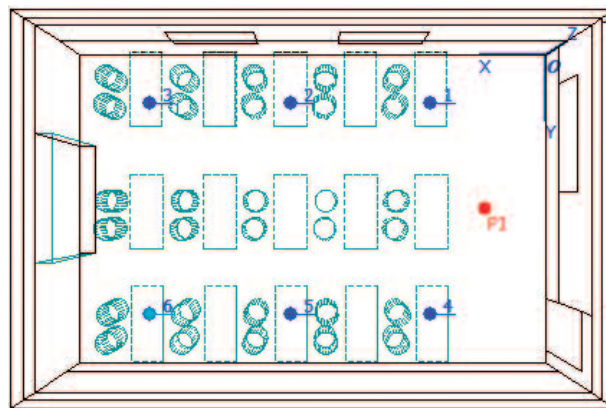


Fig. 1. Plan of the interior under consideration along with the location of the sound source P1 (a) and the arrangement of measurement points 1 to 6 (b)

Rys. 1. Rzut rozpatrywanego wnętrza wraz z usytuowaniem źródła dźwięku P1 (a) oraz rozmieszczeniem punktów pomiarowych 1 – 6 (b)

Model validation and simulation results obtained

Based on preliminary measurement results, the compliance of the base numerical model with the reverberation of the actual room model was verified in the room. The average values of the measured reverberation time as a function of frequency obtained from measurements and simulations are shown in Figure 2. A compliance level of 97.6% was achieved.

In accordance with the assumptions adopted in the computational model, various interior adaptations were simulated. Two acoustic quality indicators characterising the interior were adopted: reverberation time RT and speech transmission index STI, which describes the interior in terms of spoken words. The STI index takes values from 0 to 1, with 1 indicating very good speech intelligibility. A mathematical description of the indices can be found in the literature [10–14]. The characteristics of the reverberation time RT are shown in Figure 3, while Table 2 shows the average values of the reverberation time RT and the obtained STI values.

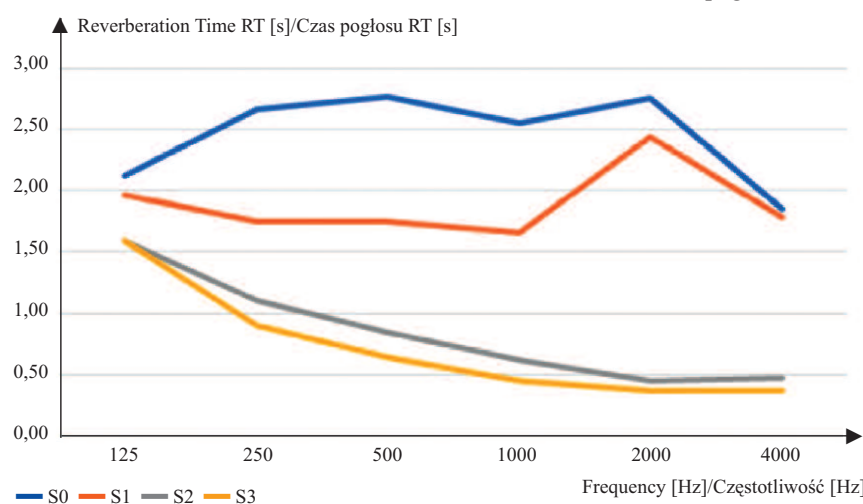


Fig. 3. Reverberation times RT versus frequency from simulations
Rys. 3. Czas pogłosu RT w funkcji częstotliwości z symulacji

In situ measurement

The measurements were performed according to the method specified in industry standards [15 ÷ 17]. They were carried out in successive stages of adaptation of the model room. The detailed measurement procedure is described in article [20],

Walidacja modelu i uzyskane wyniki symulacji

Bazując na wstępnych wynikach pomiarów, w pomieszczeniu zweryfikowano zgodność bazowego modelu numerycznego z pogłosowością rzeczywistego modelu pomieszczenia. Średnie wartości zmierzonego czasu pogłosu w funkcji częstotliwości uzyskane z pomiarów i symulacji pokazano na rysunku 2. Uzyskano zgodność na poziomie 97,6%.

Zgodnie z przyjętymi założeniami w modelu obliczeniowym wykonano symulację różnych adaptacji wnętrza. Przyjęto dwa wskaźniki jakości akustycznej charakteryzujące wnętrze: czas pogłosu RT oraz wskaźnik transmisji mowy STI (*Speech Transmission Index*) – obrazujący wnętrze pod kątem słowa mówionego. Wskaźnik STI przyjmuje wartości z przedziału 0 – 1, przy czym wartość 1 oznacza bardzo dobrą zrozumiałość mowy.

Opis matematyczny wskaźników można znaleźć w literaturze [10 ÷ 14]. Charakterystyki czasu pogłosu RT przedstawiono na rysunku 3, natomiast w tabeli 2 podano średnie wartości czasu pogłosu RT i otrzymane wartości wskaźnika STI.

Table 2. The average reverberation times RT and indicator STI values in relation to speech intelligibility

Tabela 2. Średnie wartości czasu pogłosu RT i wartości wskaźnika STI w odniesieniu do zrozumiałości mowy

Simulations/ Symulacja	Average reverberation time RT [s]/ Średni czas pogłosu RT [s]	STI	Speech intelligibility/ Zrozumiałość mowy
S0	2,45	0,43	poor/słaba
S1	1,89	0,51	sufficient/ dostateczna
S2	0,85	0,71	good/dobra
S3	0,72	0,72	good/dobra

Pomiar in situ

Pomiary wykonano wg metody wskazanej w normach branżowych [15 ÷ 17]. Przeprowadzono je w kolejnych etapach adaptacji modelowego pomieszczenia. Dokładny przebieg procedury pomiarowej opisaliśmy w artykule [20],

which also presents the frequency responses of the measured reverberation times using the ‘decay’ method (Pmz) and the ‘Swept Sine’ method (Pss).

Measuring equipment. The tests were carried out using a measuring system whose components meet the metrological requirements for class 1 accuracy instruments [19].

The transmitting part of the system consisted of the following components:

- Norsonic spherical radiation speaker column;
- Norsonic pink and white noise generator with amplifier;
- signal pistol for caps.

The receiving part of the system included the following components:

- SVAN 958 four-channel sound level meter;
- two 1/2" SV22 microphones;
- two 1/2" SV12L microphone preamplifiers;
- a SVAN 979 sound level meter with accessories;
- an SV03A acoustic calibrator, no. 2524;
- PC with SvanPC ++ Software Official 3.3.31.

The devices had type approval and valid calibration certificates.

In addition, the ‘Swept Sine’ method was used as an aid in measuring reverberation time. The measurement set consists of a PC and REW V5.20 software, a UMIK-1 measurement microphone No. 709-6266 with a calibration file. A portable speaker set was used as the sound source.

The results obtained were compiled in the form of RT reverberation time characteristics obtained from measurements (dashed and dotted lines) and obtained as a result of simulation (Figure 4).

w którym zostały również zaprezentowane przebiegi częstotliwościowe zmierzonych czasów pogłosu metodą zanikową (Pmz) oraz metodą „Swept Sine” (Pss).

Aparatura pomiarowa. Badania przeprowadzono za pomocą układu pomiarowego, którego elementy składowe spełniają wymagania metrologiczne dotyczące przyrządów klasy dokładności 1 [19].

Część nadawcza układu składała się z następujących elementów:

- kolumna głośnikowa o kulistej charakterystyce promieniowania Norsonic;
- generator szumu różowego i białego wraz ze wzmacniaczem produkcji Norsonic;
- pistolet sygnałowy na kapiszony.

Część odbiorcza układu obejmowała następujące elementy:

- czterokanałowy miernik poziomu dźwięku SVAN 958;
- mikrofon 1/2" typu SV22, 2 szt.;
- przedwzmacniacz mikrofonowy 1/2" SV12L, 2 szt.;
- miernik poziomu dźwięku SVAN 979 wraz z oprzyrządowaniem;
- kalibrator akustyczny typ SV03A, nr 2524;
- komputer PC z oprogramowaniem SvanPC ++ Software Official 3.3.31.

Urządzenia miały zatwierdzenie typu oraz aktualne świadectwa wzorcowania.

Ponadto przy pomiarach czasu pogłosu zastosowano pomocniczo metodę „Swept Sine”. Zestaw pomiarowy składa się z komputera PC oraz oprogramowaniem REW V5.20, mikrofonu pomiarowego UMIK-1 nr 709-6266 wraz z plikiem kalibracyjnym. Jako źródło dźwięku zastosowano przenośny zestaw głośnikowy.

Uzyskane rezultaty zestawiono w formie charakterystyk czasów pogłosu RT, uzyskanych z pomiarów (linią przerywaną kropkową i kreskową) oraz uzyskanych w wyniku symulacji (rysunek 4).

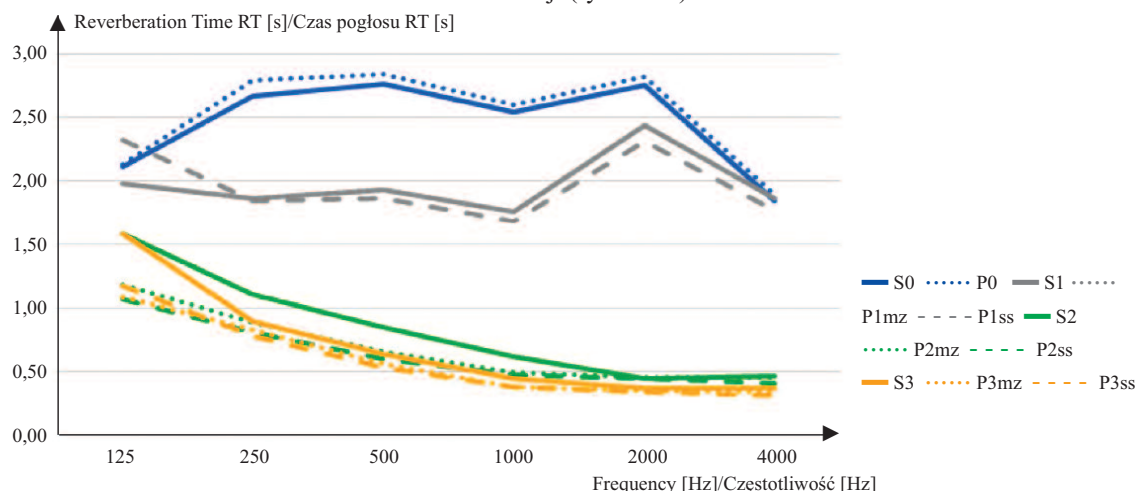


Fig. 4. Reverberation times RT in octave frequency bands for real rooms compared with the results of the simulations performed

Rys. 4. Czasy pogłosu RT w pasmach oktawowych częstotliwości w przypadku rzeczywistych pomieszczeń zestawione z wynikami wykonanych symulacji

Summary

Based on the measurements and analyses performed, the acoustic properties of the model room were assessed in four adaptation variants (S0 – S3), using both computer simulations in the Odeon Acoustics environment and in situ sound level measurements in accordance with industry standards. The

Podsumowanie

Na podstawie wykonanych pomiarów oraz przeprowadzonych analiz dokonano oceny właściwości akustycznych modelowego pomieszczenia w czterech wariantach adaptacyjnych (S0 – S3), wykorzystując zarówno symulacje komputerowe w środowisku Odeon Acoustics, jak i pomiary poziomu dźwięku in situ zgod-

reverberation time RT and the speech transmission index STI were adopted as the basic indicators of acoustic quality. These indicators enabled a comprehensive assessment of the impact of individual interior adaptations on its suitability for activities requiring good speech intelligibility. The simulations showed that each subsequent adaptation led to a significant improvement in acoustic conditions. In the base variant (S0), the reverberation time RT was 2.45 s and the STI value was 0.43, which corresponded to poor speech intelligibility. In the subsequent variants (S1 – S3), a systematic reduction in RT and an increase in STI were observed. In the final version (S3), RT was 0.72 s and STI was 0.72, which means good speech intelligibility according to the adopted interpretation scale.

The results of measurements carried out on the actual model confirmed the accuracy of the simulation assumptions. The recorded frequency responses of reverberation times, obtained using both the sound decay method (Pmz) and the Swept Sine method (Pss) methods, showed a very high degree of consistency with the numerical calculations – an average consistency of 97.6%. This confirmed the reliability of the developed computer model and the effectiveness of the interior adaptations in terms of improving the room's acoustics.

We would like to thank Saint Gobain, Svantek sound and vibration, and Alfa Bond Kohlhauser for their support.

Received: 14.04.2025
Revised: 02.06.2025
Published: 21.08.2025

ne z normami branżowymi. Jako podstawowe wskaźniki jakości akustycznej przyjęto czas pogłosu RT oraz wskaźnik transmisji mowy STI. Wskaźniki te umożliwiły kompleksową ocenę wpływu poszczególnych adaptacji wnętrza na jego przydatność do prowadzenia działań, wymagających dobrej zrozumiałości mowy. Symulacje wykazały, że każda kolejna adaptacja prowadziła do znacznej poprawy warunków akustycznych. W wariancie bazowym (S0) czas pogłosu RT wynosił 2,45 s, a wartość wskaźnika STI – 0,43, co odpowiadało słabej zrozumiałości mowy. W kolejnych wariantach (S1 – S3) obserwowano systematyczne skracanie czasu pogłosu RT oraz zwiększenie wartości STI. W końcowej wersji (S3) uzyskano czas pogłosu RT na poziomie 0,72 s oraz wskaźnik STI równy 0,72, co oznacza dobrą zrozumiałość mowy, zgodnie z przyjętą skalą interpretacyjną.

Wyniki pomiarów przeprowadzonych w rzeczywistym modelu potwierdziły trafność przyjętych założeń symulacyjnych. Zarejestrowane przebiegi częstotliwościowe czasów pogłosu, uzyskane zarówno metodą zaniku dźwięku (Pmz), jak i metodą „Swept Sine” (Pss), wykazały bardzo dużą zgodność z wynikami obliczeń numerycznych – zgodność średnia na poziomie 97,6%. Potwierdzono tym samym wiarygodność opracowanego modelu komputerowego oraz skuteczność przeprowadzonych adaptacji wnętrza w kontekście poprawy akustyki pomieszczenia.

Dziękujemy za wsparcie grupie Saint Gobain, Svantek sound and vibration, Alfa Bond Kohlhauser.

Artykuł wpłynął do redakcji: 14.04.2025 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 02.06.2025 r.
Opublikowano: 21.08.2025 r.

Literature

- [1] Bistafa SR., Bradley JS. Predicting reverberation times in a simulated classroom, J. Acoust. Soc. Am. 2000; 108 (4), pp. 1721 – 1731.
- [2] Nowoświat A, Olechowska M, Ślusarek J. Prediction of reverberation time using the residual minimization method. Applied Acoustics. 2016; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2015.12.024>.
- [3] Arif M, Katafygiotou M, Mazroei A, Kaushik A, Elsarrag E. Impact of indoor environmental quality on occupant well-being and comfort: a review of the literature. Int. J. Sustain. Built Environ. 2016; <https://doi.org/10.1016/j.ijsbe.2016.03.006>.
- [4] Nowoświat A, Olechowska M. Estimation of reverberation time in classrooms using the residual minimization method. Archives of Acoustics. 2017; <https://doi.org/10.1515/aoa-2017-0065>.
- [5] Doggett R, Sander EJ, Birt J, Ottley M, Baumann O. Using virtual reality to evaluate the impact of room acoustics on cognitive performance and well-being; Front. Virtual Real. 2021; <https://doi.org/10.3389/fvri.2021.620503>.
- [6] Nowoświat A, Olechowska M, Marchacz M. The effect of acoustical remedies changing the reverberation time for different frequencies in a dome used for worship: A case study. Applied Acoustics. 2020; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2019.107143>.
- [7] Prendergast G, Millman R, Guest H, [i in.] Effects of noise exposure on young adults with normal audiograms II: Behavioral measures. Hearing Research. 2017; <https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.10.007>.
- [8] ODEON Room Acoustics Software. User's Manual. Chapter 2, s27-28. Dostęp czerwiec, 2025, https://odeon.dk/wp-content/uploads/2017/09/ODEON_Manual.pdf.
- [9] https://www.acousticalsurfaces.com/acoustic_IOI101home.htm. Dostęp czerwiec, 2025.
- [10] Duangpummet S, Karnjana J, Kongprawechon W, Unoki M. Blind estimation of speech transmission index and room acoustic parameters ba-

sed on the extended model of room impulse response. Applied Acoustics. 2022; <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2021.108372>.

[11] Nguyen DD, Gupta R, Gunjawate DR, Holik J, Jin C, Madill C. Speech-to-Noise Ratio and Voice-to-Noise Ratio of Voice Databases With Implications for Acoustic Voice Analysis. Journal of Voice. 2025; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2025.05.029>.

[12] Şaher K, Bulunuz M, Kelmendi J, Nas S. Assessment of speech intelligibility during different teaching activities in classrooms with and without acoustic treatment. Applied Acoustics. 2023; <https://doi.org/10.1016/j.jvoice.2025.05.029>.

[13] Aguilar AJ, Hoz-Torres M, Costa N, Arezes P, [i in.] Indoor acoustic quality of educational buildings in South West Europe: Influence of current ventilation strategies. Journal of Building Engineering. 2023; <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.108012>.

[14] Yan S, Zhang L, Miao Y, Deng J, Liu Z. Research on regulating classroom reverberation time by using wood materials. Journal of Building Engineering. 2025; <https://doi.org/10.1016/j.job.2025.112173>.

[15] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne.

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

[17] PN-B-02151-4:2015-06 Akustyka budowlana. Ochrona przed hałasem w budynkach. Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań.

[18] Nowoświat A, Żuchowski R, Olechowska M, [i in.] Vibrations in Physical Systems. 2024. DOI: 10.21008/j.0860-6897.2024.2.10.

[19] PN-EN 61672-1: 2014-03 Elektroakustyka. Mierniki poziomu dźwięku. Część 1: Wymagania.