

mgr inż. arch. Karolina Warzocha^{1*)}
 ORCID: 0000-0001-8552-2315
 dr hab. inż. arch. Andrzej K. Kłosak, prof. PK¹⁾
 ORCID: 0000-0001-6326-1652

Sposoby obniżenia poziomu dźwięku w salach prób muzycznych

Ways of reducing the sound level in the music rehearsal rooms

DOI: 10.15199/33.2022.08.01

Streszczenie. W artykule przedstawiono, w jakim stopniu zmiana takich parametrów jak średni współczynnik pochłaniania dźwięku α_{av} w pomieszczeniu, wielkość pomieszczenia oraz ustawienie muzyków wpływa na spadek poziomu dźwięku w sali prób muzycznych. Przeprowadzone symulacje pozwalają wywnioskować, że dla użytkowników najbardziej odczuwalne spadki poziomów dźwięku generuje zwiększenie powierzchni pomieszczenia. Jednak dopiero uwzględnienie wszystkich trzech działań pozwala osiągnąć bezpieczny dla użytkowników poziom dźwięku zgodnie z ISO 23591:2021 [1] i wyznaczyć wymagane powierzchnie sal prób muzycznych

Słowa kluczowe: poziom dźwięku; sala prób muzycznych; klasyczne instrumenty muzyczne.

Abstract. In this paper to what extent the change of such parameters as the average sound absorption coefficient α_{av} in a room, the size of the room and the positioning of the musicians affect the decrease in the sound level in the music rehearsal room has been presented. The conducted simulations allow to conclude that the most important is the appropriately selected room area. However, only after taking into account all three effects it is possible to achieve a sound level that is safe for users according to ISO 23591:2021 [1] and to determine the required areas of music rehearsal rooms.

Keywords: sound power level; music rehearsal room; classical musical instruments.

Dyrektywa 2003/10/WE z 6 lutego 2003 r. zwana *hałasową*, jako pierwsza w przypadku branży muzycznej wprowadziła ograniczenia narażenia na hałas [2]. Efektem tego były liczne badania przeprowadzone w ostatnich latach wśród zawodowych muzyków klasycznych, potwierdzające szkodliwość częstej ekspozycji na hałas, którym jest również muzyka klasyczna [3-7]. Muzycy, zarówno zawodowi, jak i studenci kierunków muzycznych oraz ich nauczyciele, znacznie więcej czasu spędzają na próbach, niż koncertując. Wielogodzinne próby muzyczne często odbywają się w zbyt małych i źle zaadaptowanych akustycznie salach, które dodatkowo wzmacniają głośność instrumentów. *Akustycznie rzecz biorąc, sala prób jest przedłużeniem instrumentu muzycznego, który w niej gra* [8]. Wnętrze decyduje o tym, jak głośno odbierane są dźwięki instrumentów i dlatego wprowadzona w 2021 r. norma ISO 23591:2021 [1] sugeruje, aby poziom dźwięku SPL (lin) w sali prób muzycznych wynosił 85 – 90 dB (przy dy-

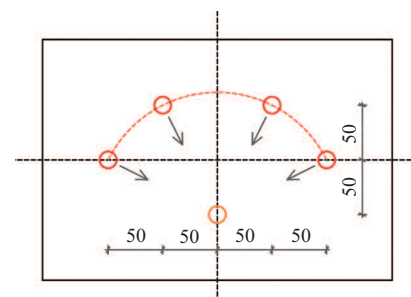
namice gry forte). Ma to zapewnić odpowiednią intensywność muzyki, przy jednoczesnym bezpiecznym poziomie dla słuchu użytkownika sali prób.

Jak zatem zmniejszyć głośność klasycznych instrumentów muzycznych w pomieszczeniu, nie ograniczając ekspresyjności gry muzyków?

Metoda badań

Dwa zespoły muzyczne (kwartet smyczkowy oraz kwartet dęty) zamodelowane w czterech pomieszczeniach różniących się powierzchnią oraz przy założeniu różnej chłonności akustycznej pomieszczenia posłużyły do sprawdzenia głośności w salach prób. Obliczenia przeprowadzono w programie Odeon wersja 17. Oba zespoły zostały zamodelowane jako cztery źródła dźwięku imitujące instrumenty muzyczne oraz cztery odbiorniki dźwięku imitujące muzyków. Wzajemne położenie muzyka i jego instrumentu wyznaczono na podstawie literatury [9] i autorskich wyliczeń, jako odległość między środkiem głowy muzyka a częścią instrumentu muzycznego, z której rozchodzi się dźwięk. Jako moc akustyczną instrumentów przyjęto wartości liniowe wskazane w normie ISO 23591:2021 [1]. Za-

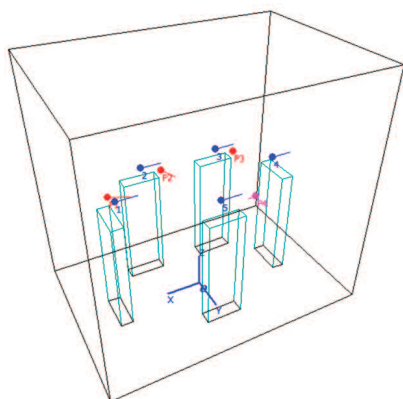
łożono, że wszyscy muzycy są praworęczni. W modelu obliczeniowym nie analizowano różnic w poziomie dźwięku przy każdym uchu użytkownika sali prób. Był on jedynie przybliżeniem rzeczywistości i miał na celu podanie poziomu dźwięku tuż przy muzyku bez rozróżnienia na stronę prawą i lewą. Wykorzystano zdefiniowaną w programie Odeon kierunkowość instrumentów. Zamodelowanych muzyków wraz z ich instrumentami muzycznymi ustawiono po łuku. Na wprost zespołu muzycznego usytuowano pięć odbiornik dźwięku imitujący nauczyciela gry (rysunki 1 i 2). Dodatkowo, tuż pod odbiornikami były uproszczone sylwetki muzyków oraz nauczyciela, nadając im



Rys. 1. Ustawienie muzyków i nauczyciela w sali prób

Fig. 1. The musicians and teacher setting in the rehearsal room

¹⁾ Politechnika Krakowska
^{*)} Adres do korespondencji: kkolisz@pk.edu.pl



Rys. 2. Zamodelowane, uproszczone sylwetki użytkowników w sali prób (kwartet smyczkowy) – Odeon

Fig. 2. Modeled, simplified users' profiles in the rehearsal room (string quartet) – Odeon

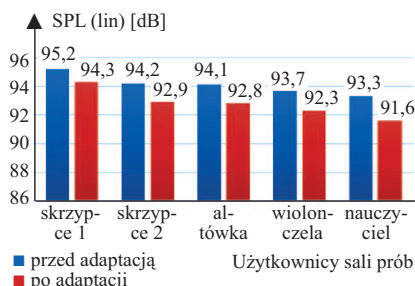
chłonność akustyczną charakterystyczną dla dorosłego człowieka w pozycji stojącej (rysunek 2).

W celu sprawdzenia wpływu zmiany kubatury pomieszczenia na poziom dźwięku w jego wnętrzu, zamodelowano cztery sale prób muzycznych różniące się powierzchnią (7; 15; 28 i 44 m²). Proporcje rzutu sal dobrano na podstawie wytycznych zawartych w literaturze [8] i przyjęto stałą wartość stosunku długości do szerokości modelowanych pomieszczeń równą 1,45 oraz stałą wysokość pomieszczeń – 3,0 m w świetle. Symulacje przeprowadzono przy założeniu różnych średnich współczynników pochłaniania dźwięku α_{sr} w pomieszczeniu, a także dwa modele wykończenia przegród ograniczających wnętrza. Pierwszy model zakładał wykończenie wszystkich ścian i sufitu tradycyjnym tynkiem oraz zastosowanie paneli podłogowych na posadzce. W zależności od kubatury pomieszczenia przełożyło się to na średni współczynnik pochłaniania dźwięku α_{sr} wynoszący 0,048 ÷ 0,053. Uzyskano czas pogłosu RT = 1,22 ÷ 1,78 s (wszystkie wartości czasu pogłosu podane w artykule stanowią średnią wartość czasu pogłosu w częstotliwościach 500 i 1 kHz, w przypadku pustego pomieszczenia, zgodnie z normą ISO 23591:2021 [1]). Drugi model zakładał zastosowanie welurowych zasłon na dwóch sąsiednich ścianach oraz wykończenia sufitu płytami gipsowo-kartonowymi z perforacją 11%. W zależności od kubatury pomieszczenia średni współczynnik

pochłaniania dźwięku α_{sr} wynosił 0,147 ÷ 0,178, dzięki czemu zapewniono odpowiedni czas pogłosu w zamodelowanych salach prób RT = 0,45 ÷ 0,65 s. Dalsze zwiększanie średniego współczynnika pochłaniania dźwięku α_{sr} w pomieszczeniach skutkowałoby kolejnym spadkiem poziomu dźwięku, jednak oznaczałoby zbyt krótki czas pogłosu, nieodpowiedni w przypadku zamodelowanych pomieszczeń i ich funkcji muzycznej.

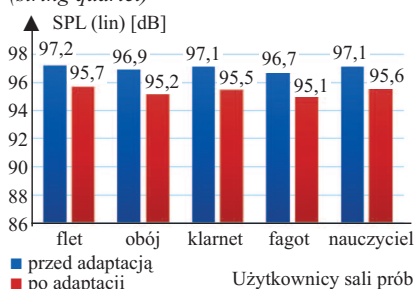
Analiza wyników i wnioski

Pierwsze symulacje przeprowadzono w celu sprawdzenia efektu adaptacji akustycznej, czyli efektu zwiększenia średniego współczynnika pochłaniania dźwięku α_{sr} w pomieszczeniu i tym samym zapewnienia odpowiedniego czasu pogłosu (rysunki 3 i 4). W przypadku obu kwartetów spadek poziomu dźwięku w przypadku każdego użytkownika jest podobny i wynosi 1 – 2 dB, co jest słabo odczuwalne dla człowieka. Małe różnice w poziomie dźwięku w pomieszczeniu przed i po adaptacji akustycznej praw-



Rys. 3. Poziom dźwięku przed i po adaptacji akustycznej wnętrza – zwiększenie średniego współczynnika pochłaniania dźwięku α_{sr} w pomieszczeniach (kwartet smyczkowy)

Fig. 3. The sound level before and after acoustic adaptation – increase of the average sound absorption coefficient α_{av} in rooms (string quartet)



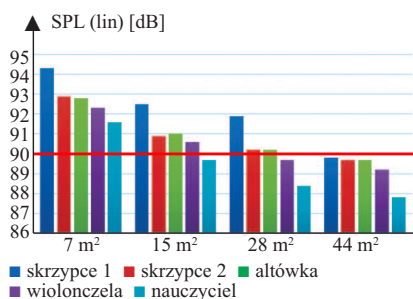
Rys. 4. Poziom dźwięku przed i po adaptacji akustycznej wnętrza – zwiększenie średniego współczynnika pochłaniania dźwięku α_{sr} w pomieszczeniach (kwartet dęty)

Fig. 4. The sound level before and after acoustic adaptation – increase of the average sound absorption coefficient α_{av} in rooms (wind quartet)

dopodobnie są podyktowane obecnością użytkowników sal, którzy sami stanowią elementy pochłaniające dźwięk. Ich wpływ jest tym większy, im mniejsza powierzchnia ograniczająca wnętrze, a tym samym kubatura sali prób. Pomimo słabo odczuwalnego przez użytkowników sal spadku poziomu dźwięku, przeprowadzenie adaptacji akustycznej jest konieczne, aby uzyskać odpowiedni czas pogłosu w pomieszczeniu.

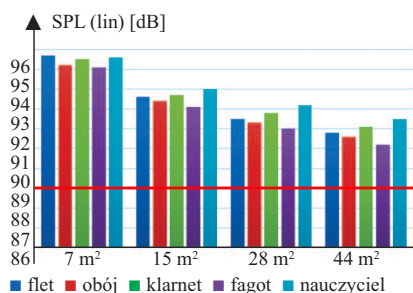
Kolejne symulacje dotyczyły sprawdzenia wpływu zmiany kubatury pomieszczenia na spadek poziomu dźwięku we wnętrzu, przy założeniu drugiego modelu wykończenia wnętrza, czyli przy docelowym czasie pogłosu. Zmiana kubatury poprzez zwiększenie powierzchni sali prób muzycznych z 7 na 44 m² daje odczuwalny dla użytkowników pomieszczenia spadek poziomu dźwięku na poziomie 3 – 4,5 dB (rysunki 5 i 6). W przypadku kwartetu smyczkowego przeprowadzenie adaptacji akustycznej pomieszczenia oraz zwiększenie jego powierzchni do 44 m² jest wystarczające, aby obniżyć poziom dźwięku do bezpiecznej dla użytkowników wartości – poniżej 90 dB (lin) (rysunek 5). Dla kwartetu dętego te działania są niewystarczające do osiągnięcia bezpiecznego poziomu dźwięku (rysunek 6). Wynika to z większej mocy akustycznej instrumentów, które wchodzi w skład kwartetu dętego w porównaniu z instrumentami kwartetu smyczkowego.

W trakcie przeprowadzania symulacji autorzy dostrzegli jeszcze jeden parametr, który może wpływać na spadek poziomu dźwięku odczuwalny przez muzyków i nauczyciela – ustawienie użytkowników sali względem siebie. Opisanie symulacje dotyczyły jednego ustawienia zespołu i nauczyciela, przedstawionego na rysunku 1. Niewielkie odległości między użytkownikami pomieszczenia zostały podyktowane wymiarami sali prób o powierzchni 7 m². W przypadku większych pomieszczeń muzycy oraz nauczyciel mają możliwość zachowania między sobą większej odległości. W celu sprawdzenia wpływu zmiany ustawienia zespołu na spadek poziomu dźwięku odczuwalny przez użytkowników sali przeprowadzono symulacje w większych salach prób, rozsuwając muzyków wraz z instrumenta-



Rys. 5. Poziom dźwięku w przypadku zwiększenia powierzchni sali prób z 7 do 15; 28 i 44 m² (kwartet smyczkowy)

Fig. 5. The sound level during increasing the area of the rehearsal room from 7 to 15; 28 and 44 m² (string quartet)

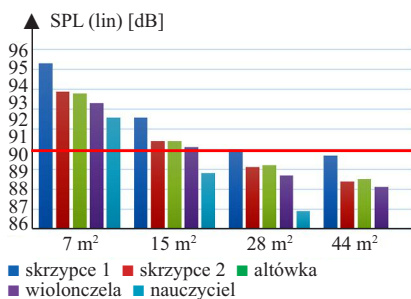


Rys. 6. Poziom dźwięku w przypadku zwiększenia powierzchni sali prób z 7 do 15; 28 i 44 m² (kwartet dęty)

Fig. 6. The sound level during increasing the area of the rehearsal room from 7 to 15; 28 and 44 m² (wind quartet)

mi oraz nauczyciela od środka układu współrzędnych. Jednak jak pokazały symulacje, w większości przypadków, wpływ zmiany ustawienia zespołu jest słabo odczuwalny – wynosi on 1 ÷ 2 dB. Oznacza to, że poziom dźwięku, jaki generuje przy danym muzyku jego własny instrument, jest na tyle wysoki, że odsunięcie pozostałych członków zespołu nie daje dużego efektu. Wyróżniają się stanowiska nauczycieli, w przypadku których odnotowano spadek powyżej 2 dB dzięki zwiększeniu odległości między użytkownikami pomieszczenia.

Po uwzględnieniu wszystkich trzech działań, jakimi są adaptacja akustyczna, zwiększenie powierzchni pomieszczenia (rysunki 5 i 6) oraz zwiększenie odległości między użytkownikami sali prób, okazuje się, że sala o powierzchni 28 m² jest wystarczająca w przypadku kwartetu smyczkowego, aby zapewnić bezpieczny dla użytkowników poziom dźwięku, czyli poniżej 90 dB (lin) (rysunek 7). W przypadku kwartetu dętego, uwzględnienie trzech wymienionych działań za wystarczającą pozwala uznać salę o powierzch-

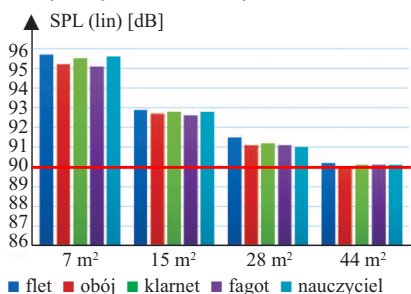


Rys. 7. Poziom dźwięku w przypadku zwiększenia powierzchni sali prób z 7 do 15; 28 i 44 m² oraz zmianie ustawienia zespołu (kwartet smyczkowy)

Fig. 7. The sound level during increasing the area of the rehearsal room from 7 to 15; 28 and 44 m² and changing users' positions (string quartet)

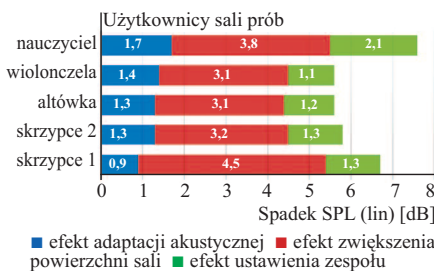
ni 44 m² (rysunek 8). Przeprowadzona analiza pozwala wywnioskować, iż przy doborze wielkości sali prób istotne jest dokładne przeznaczenie pomieszczenia, czyli skład zespołu.

Na rysunkach 9 i 10 zestawiono wpływ trzech działań, które mają na celu obniżenie poziomu dźwięku w salach prób muzycznych. Największy odczuwalny przez użytkowników spadek poziomu dźwięku daje zwiększenie powierzchni pomieszczenia. Natomiast sumaryczny efekt wszystkich działań



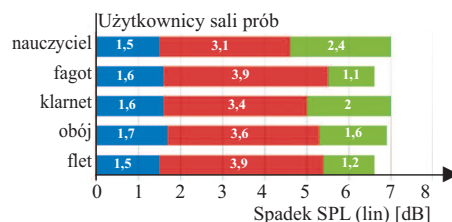
Rys. 8. Poziom dźwięku w przypadku zwiększenia powierzchni sali prób z 7 do 15; 28 i 44 m² oraz zmianie ustawienia zespołu (kwartet dęty)

Fig. 8. The sound level during increasing the area of the rehearsal room from 7 to 15; 28 and 44 m² and changing users' positions (wind quartet)



Rys. 9. Spadek poziomu dźwięku jako efekt trzech działań (kwartet smyczkowy)

Fig. 9. Reduce of the sound level as a result of three actions (string quartet)



Rys. 10. Spadek poziomu dźwięku jako efekt trzech działań (kwartet dęty)

Fig. 10. Reduce of the sound level as a result of three actions (wind quartet)

przekłada się na obniżenie poziomu dźwięku o 5,6 – 7,6 dB w przypadku poszczególnych użytkowników.

Podsumowanie

Przeprowadzone symulacje pozwalają wnioskować, iż najbardziej odczuwalne dla użytkowników spadki poziomu dźwięku generuje zwiększenie powierzchni pomieszczenia, ale dopiero uwzględnienie wszystkich trzech działań pozwala osiągnąć bezpieczny dla nich poziom dźwięku, zgodnie z ISO 23591:2021 [1] i wyznaczyć wymagane powierzchnie sal prób muzycznych.

Literatura

[1] ISO 23591:2021; Acoustic quality criteria for music rehearsal rooms and spaces.
 [2] Dyrektywa 2003/10/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z 6 lutego 2003 r. w sprawie minimalnych wymagań w zakresie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa dotyczących narażenia pracowników na ryzyko spowodowane czynnikami fizycznymi (hałasem).
 [3] Jansen EJ, Helleman HW, Dreschler WA, De Laat JA. Noise induced hearing loss and other hearing complaints among musicians of symphony orchestras. International Archives of Occupational and Environmental Health. 2009; 82 (2): 153 – 164.
 [4] Pawlaczek-Luszczynska M, Zamojska M, Dudarewicz A, Zaborowski K. Noise – induced hearing loss in professional orchestral musicians. Archives of Acoustics. 2013; 38 (2): 223 – 234.
 [5] Phillips SL, Henrich VC, Mace S. Prevalence of noise – induced hearing loss in student musicians. International Journal of Audiology. 2010; 49 (4).
 [6] Schmidt JH, Pedersen ER, Paarup HM, Christensen-Dalsgaard J, Andersen T, Poulsen T, Baelum J. Hearing loss in relation to sound exposure of professional symphony orchestra musicians. Ear and Hearing. 2014; 35 (4): 448 – 460.
 [7] Pietrzak AP. Ocena ekspozycji muzyków na dźwięk z wykorzystaniem dwukanałowej dozimetrii hałasowej. Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych, Politechnika Warszawska 2021; praca doktorska.
 [8] Rindel JH. Searching the musical rehearsal room. BNAM-2021, Oslo, Norwegia.
 [9] Wenmaekers R, Hak C. A sound level distribution model for symphony orchestras: possibilities and limitations. Psychomusicology: Music, Mind, and Brain 2015; <http://dx.doi.org/10.1037/pmu0000069>.

Przyjęto do druku: 25.07.2022 r.