

Wytyczne akustyczne remontu Teatru Animacji w Poznaniu

Opracowanie:
dr inż. arch. Anna Sygulska
e-mail.: anna.sygulska@put.poznan.pl

Poznań, 11 lipca 2024 r.

1. DANE OGÓLNE

1.1. CEL OPRACOWANIA

Celem niniejszego opracowania jest sformułowanie wytycznych z zakresu akustyki w związku z inwestycją dotyczącą remontu sali audytoryjnej Teatru Animacji w Poznaniu z widownią dla ok. 170 osób. Ze względu na wytyczne inwestora co do zakresu ingerencji w architekturę sali w wytycznych ograniczono się do zaleceń dotyczących planowanych prac remontowych.

1.2. PODSTAWA OPRACOWANIA

Opracowanie zostało wykonane na podstawie:

Barron M. (2009), *Auditorium acoustics and architectural design*. Routledge.

Beranek L. L. (2004), *Concert halls and opera houses: music, acoustics and architecture*, Springer, Second Edition.

Egan M.D. (2007), *Architectural acoustics*, J. Ross Publishing.

Everest F. A., Pohlmann K. C. (2009), *Master handbook of acoustics*, Fifth edition, Mc Graw Hill, USA.

Izenour G.C. (1996), *Theater design*, Yale University Press.

Jordan V. L. (1980), *Acoustical design of concert halls and theatres*, Essex, Applied Science Publishers Ltd.

Kulowski A. (2011), *Akustyka sal, zalecenia projektowe dla architektów*, Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej.

Long M. (2006), *Architectural acoustics*, Elsevier Academic Press.

Sygulska A. (2012), Sale wielofunkcyjne o regulowanej akustyce, *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, Nr 28, pp.35-51.

Sygulska A., Brawata K. (2017), The Study of the Proscenium Area in an Opera House, *Archives of Acoustics*, vol. 42, no. 3, s. 515-526.

PN-B-02151-2. (2018), *Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 2: Wymagania dotyczące dopuszczalnego poziomu dźwięku w pomieszczeniach*.

PN-B-02151-3. (2015), *Akustyka budowlana - Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 3: Wymagania dotyczące izolacyjności akustycznej przegród w budynkach i elementów budowlanych*.

PN-B-02151-4. (2015), *Akustyka budowlana -- Ochrona przed hałasem w budynkach -- Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań*.

PN-B-02156. (1987), *Akustyka budowlana -- Metody pomiaru poziomu dźwięku A w budynkach*.

PN-EN ISO 140-4. (2000), *Akustyka -- Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków powietrznych między pomieszczeniami*. PKN.

PN-EN ISO 140-5. (1999), *Akustyka -- Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej od dźwięków powietrznych ściany zewnętrznej i jej elementów*.

PN-EN ISO 140-7. (2000), *Akustyka -- Pomiar izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Pomiary terenowe izolacyjności od dźwięków uderzeniowych stropów*. Warszawa: PKN.

PN-EN ISO 16283-1. (2014), *Akustyka -- Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych*.

PN-EN ISO 16283-2. (2021), *Akustyka -- Pomiary terenowe izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych*.

PN-EN ISO 3382-1. (2009), *Akustyka -- Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń -- Część 1: Pomieszczenia specjalne*.

PN-EN ISO 3382-2. (2010), *Akustyka -- Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń -- Część 1: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach*.

PN-EN ISO 3382-3. (2012), *Akustyka -- Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń -- Część 3: Pomieszczenia biurowe typu "open space"*.

PN-EN ISO 717-1. (2013), *Akustyka -- Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 1: Izolacyjność od dźwięków powietrznych*.

PN-EN ISO 717-2. (2013), *Akustyka -- Ocena izolacyjności akustycznej w budynkach i izolacyjności akustycznej elementów budowlanych -- Część 2: Izolacyjność od dźwięków uderzeniowych*.

Pomiary Akustyczne, TEATR ANIMACJI, ul. Święty Marcin 80/82 61-809 Poznań, autorzy: dr inż. Krzysztof Brawata, dr inż. Katarzyna Baruch-Mazur, dr inż. arch. Anna Sygulska.

1.3. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA AKUSTYCZNA SALI NA PODSTAWIE BADAŃ AKUSTYCZNYCH

Badania akustyczne [Pomiary akustyczne: Brawata, Baruch i Sygulska] wykazały, że wyznaczona wartość czasu pogłosu $RT_{500-1000\text{Hz}} = 0,74 \text{ s}$, natomiast $RT = 0,78 \text{ s}$ (położenie źródła S1) (zalecane $RT = 0,8 \text{ s}$, dla mowy [Kulowski 2011]). Natomiast wskaźnik transmisji mowy $STI = 0,69$.

Użytkownik sali ocenia aktualne warunki akustyczne, w tym szczególnie pogłosowość sali, za odpowiednią do aktualnie prowadzonych działań artystycznych. We wnioskach z badań akustycznych wskazano na konieczność zwiększenia rozproszenia dźwięku w sali, przy tym należy dążyć do

zachowania aktualnych warunków pogłosowych audytorium. Dopuszcza się odstępstwo w zakresie 10 %.

Ze względu na wytyczne inwestora co do możliwych ingerencji w architekturę sali tzn. sufit nie podlega wymianie, podano założenia co do wymiany okładziny ściennej, wykładziny podłogowej, siedzisk, ścianek proscenium, oraz podłogi sceny. Natomiast ze względu na izolacyjność akustyczną podano wytyczne dla drzwi wejściowych oraz strefy przyległej do sali głównej. Podano również dodatkowe zalecenia, uwzględniające otwarcie ściany reżyserki.

2. SZCZEGÓŁOWE WYTYCZNE

2.1. ŚCIANY

Aktualnie w sali trzy ściany wykończone są boazerią. Ściana tylna (rys. 1 a) wykończona jest boazerią szczelinową na całej długości pod oknami reżyserki i kabiny oświetleniowca. Pas przy oknach pokryty jest pianką akustyczną. Natomiast ściany boczne (rys. 1 b) w części przyległej do ściany tylnej wykończone są boazerią szczelinową, natomiast w części przy scenie boazerią listwową. Boazeria szczelinowa ma właściwości dźwiękochłonne i rozpraszające wyższe częstotliwości. Listwowa natomiast, odbija i rozprasza dźwięk w zakresie wyższych częstotliwości. Boazeria wykończona jest okleiną dębową.

Boazeria szczelinowa posiada właściwości dźwiękochłonne dzięki wełnie szklanej umieszczonej za deskami boazerii i montażu jej na pustce powietrznej.

Przy wymianie okładzin należy uwzględnić aktualne własności akustyczne okładzin oraz ich układ na ścianach (podział ścian bocznych) i zapewnić rozwiązania o podobnych właściwościach akustycznych.

Okładziny ścienne należy wykonać z materiałów akustycznych o własnościach rozpraszających dźwięk o wartościach współczynnika rozproszenia dźwięku s nie mniejszych niż podanych w tablica 1 oraz umożliwiających uzyskanie pochłaniania dźwięku w niższych pasmach częstotliwościowych. Grubość materiału nie powinna być większa niż 40 mm (to odpowiada boazerii listwowej).

W przypadku konieczności uzyskania pochłaniania dźwięku w niższych pasmach częstotliwościowych grubość ustroju nie powinna przekroczyć 100 mm.

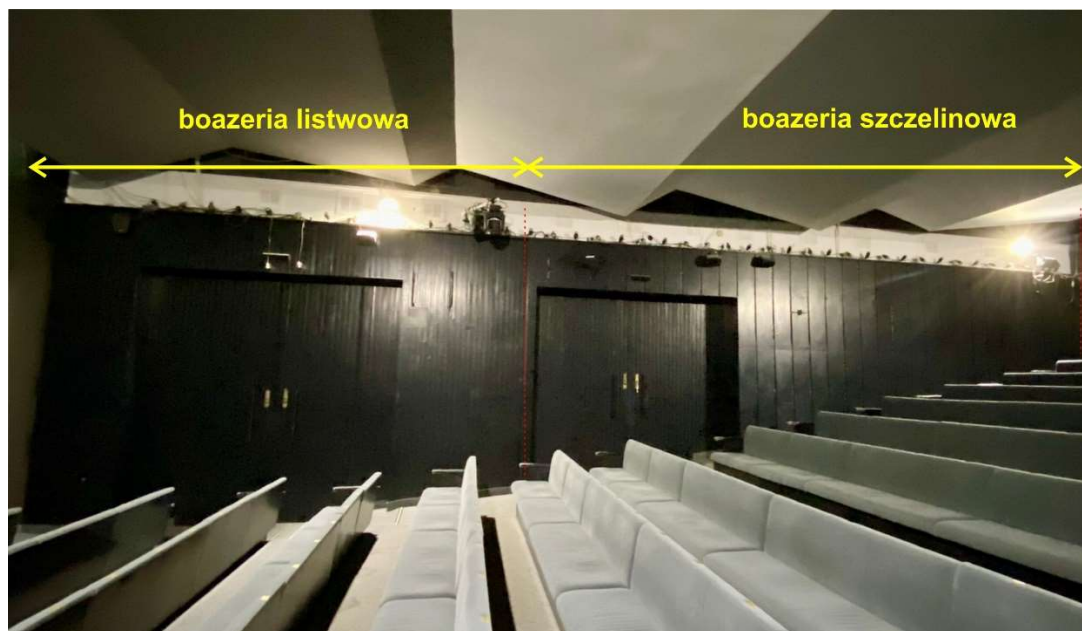
Tablica 1 Współczynnik rozpraszania dźwięku s zgodnie z ISO 17497-1

1/3-okt. [Hz]	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
S	0,00	0,05	0,10	0,25	0,50	0,60	0,70	0,80

a)



b)



Rys. 1. a) widok na ścianę tylną z okładziną

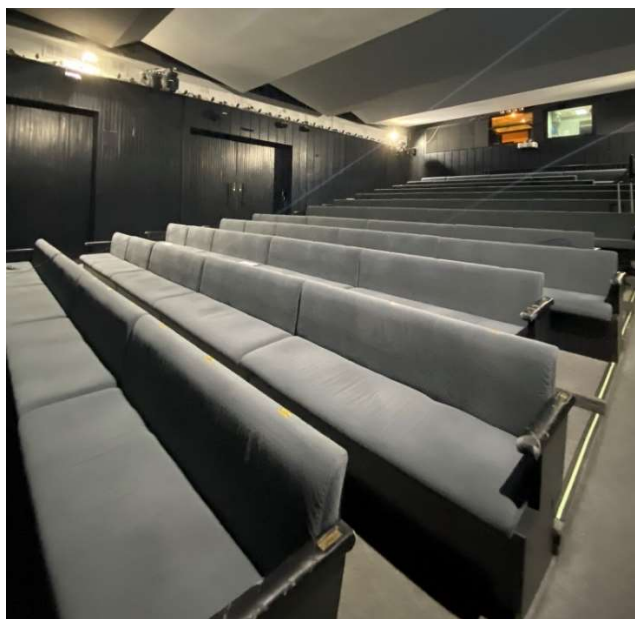
b) widok na ścianę boczną z okładziną

2.2. PODŁOGA

Planowana jest wymiana wykładziny, bez zmian struktury podłogi. Projektowana wykładzina powinna być wykładziną dywanową, nie dopuszcza się wykładzin PCV. Należy dobrać wykładzinę o współczynniku pochłaniania α_w podobnym do istniejącej wykładziny.

2.3. SIEDZISKA

Planowana wymiana siedzisk powinna odbyć się z dużą starannością. Siedziska (rys.2) stanowią główny element dźwiękochłonny widowni. W celu utrzymania warunków akustycznych w sali na obecnym poziomie, przy wymianie foteli zaleca się, aby materiał tapicerski charakteryzował się podobną wartością jednostkowej oporności przepływu powietrza (zmierzona wartość jednostkowej oporności przepływu powietrza obecnej tkaniny tapicerskiej wyniosła 150 [Pa*s/m]) oraz grubość gąbki była zbliżona do obecnej grubości gąbki fotelewej.



Rys. 2. Siedziska w sali teatralnej

2.4. ŚCIANKI PROSCENIUM

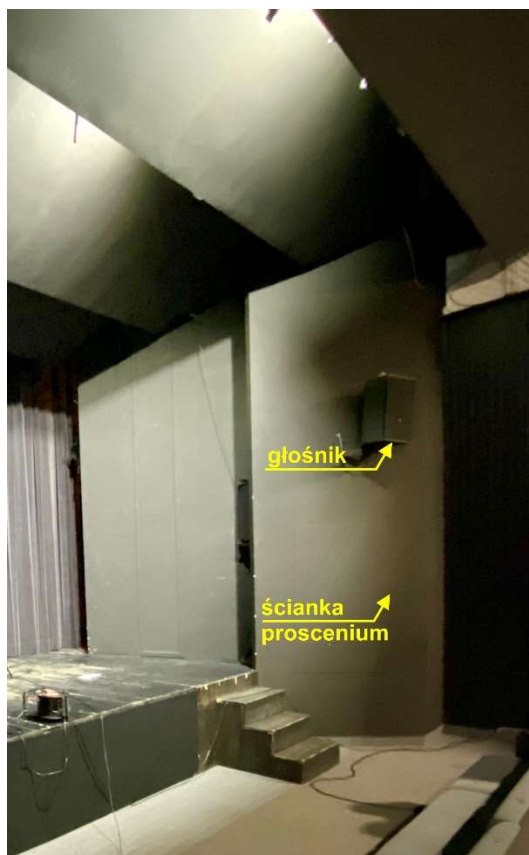
Zaleca się wymianę ścianek proscenium (rys.3) oraz modyfikacje ich ukształtowania. Dokładny kształt należy dobrać na podstawie badań symulacyjnych na modelu obliczeniowym, tak aby uzyskać korzystne nagłośnienie całej powierzchni widowni. Elementy refleksyjne w rejonie sceny (ścianki proscenium) należy wykonać z materiałów o masie powierzchniowej nie mniejszej niż 20 kg/m^2 .

Dodatkowo w rejonie sceny należy przewidzieć adaptację akustyczną z materiałów zapewniających pochłanianie dźwięku zwłaszcza w zakresie częstotliwości 63-1000 Hz.

Zaleca się zmianę zamocowania urządzeń głośnikowych znajdujących się przy scenie na ściankach proscenium. Obecne położenie głośników nie umożliwia optymalnego nagłośnienia widowni. Dlatego zaleca się przymocowanie urządzeń głośnikowych do sufitu w strefie proscenium. System montażowy

powinien umożliwić umieszczenie na nim większej liczby głośników w przyszłości. Zestawy głośnikowe należy zamontować w taki sposób, aby zapewnić równomierne pokrycie dźwiękiem całej widowni.

Na rysunku 3 pokazano prawą ściankę proscenium (patrząc w kierunku sceny) z zamocowanym zestawem głośnikowym.



Rys. 3. Ścianka proscenium z zamocowanym zestawem głośnikowym

2.5. PODŁOGA SCENY I MAGAZYN PRZY SCENIE

Podłoga sceny wykonana jest z desek. Aby zmniejszyć wyraźnie słyszalne dźwięki uderzeniowe dochodzące z pustki pod podłogą, należy w tej pustce umieścić na co najmniej 50% powierzchni wełnę mineralną o grubości 10 cm.

Magazyn dekoracji przy scenie wymaga wprowadzenia materiałów pochłaniających dźwięk. W przypadku gdy w magazynie znajduje się mniejsza ilość dekoracji przestrzeń ta ma niekorzystne oddziaływanie akustyczne. Należy zmierzać do uzyskania krótkiego czasu pogłosu w magazynie, aby uniezależnić akustyczny wpływ tej przestrzeni od ilości dekoracji.

2.6. DRZWI

Planowana jest wymiana drzwi wejściowych do sali teatralnej (rys. 4). Drzwi powinny być wyposażone w system cichego zamykania. Izolacyjność każdych drzwi powinna być $R_{A,2} \geq 37$ [dB]. W przypadku pozostawienia obecnych drzwi nie należy wprowadzać w nich żadnych zmian konstrukcyjnych oraz materiałowych bez przeprowadzenia pomiarów ich izolacyjności akustycznej in-situ. Na podstawie pomiarów należy opracować wytyczne akustyczne do ewentualnej ich renowacji.



Rys. 4. Drzwi wejściowe do sali teatralnej

2.7. REŻYSERKA

Na tylnej ścianie widowni znajdują się dwa okna. Patrząc od strony sceny w kierunku widowni, po prawej stronie znajduje się okno kabiny oświetleniowca, a po lewej kabiny reżyserki (realizatorów dźwięku). Należy na stałe otworzyćabinę reżyserki audio i zrezygnować z okna. Możliwe jest również poszerzenie otworu okiennego, przy zachowaniu jego aktualnej wysokości. W celu poprawnego zaprojektowania rozwiązania, niezbędne są konsultacje na etapie projektowym z realizatorami dźwięku Teatru Animacji, którzy powinni brać czynny udział na etapie projektowym i wykonawczym. Na rysunku 5 wskazano kabinę reżyserki oraz kabinę oświetleniowca.



Rys.5. Widok w kierunku tylnej ściany widowni, pokazano kabinę reżyserki i kabinę oświetleniowca

2.8. STREFA PRZYLEGŁA DO SALI GŁÓWNEJ I SALA WITRAŻOWA

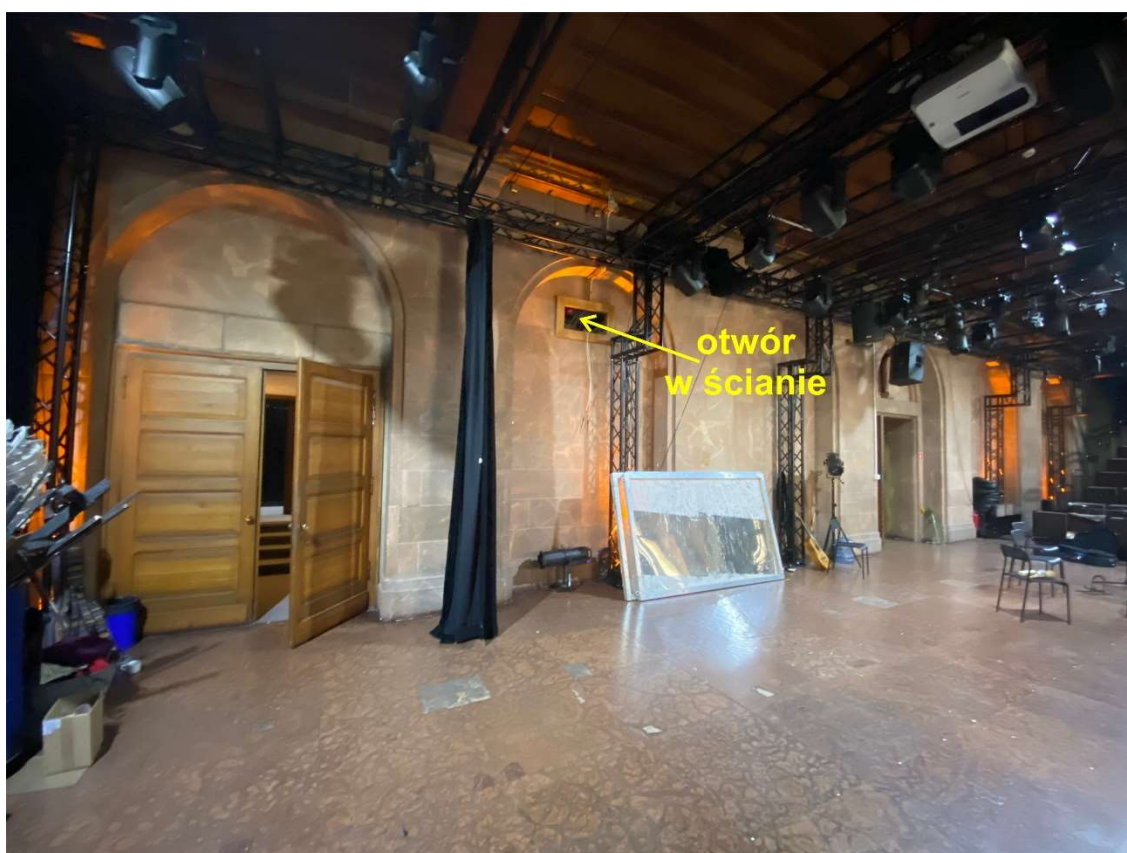
Drzwi z holu głównego tzw. białego holu do Sali Witrażowej (rys. 6), powinny charakteryzować się wyższą izolacyjnością akustyczną ($R_{A,2} \geq 37$ dB). Aktualnie odbywające się tam wydarzenia artystyczne nie są odpowiednio odizolowane akustycznie od wspólnego dla sali teatralnej i witrażowej korytarza.



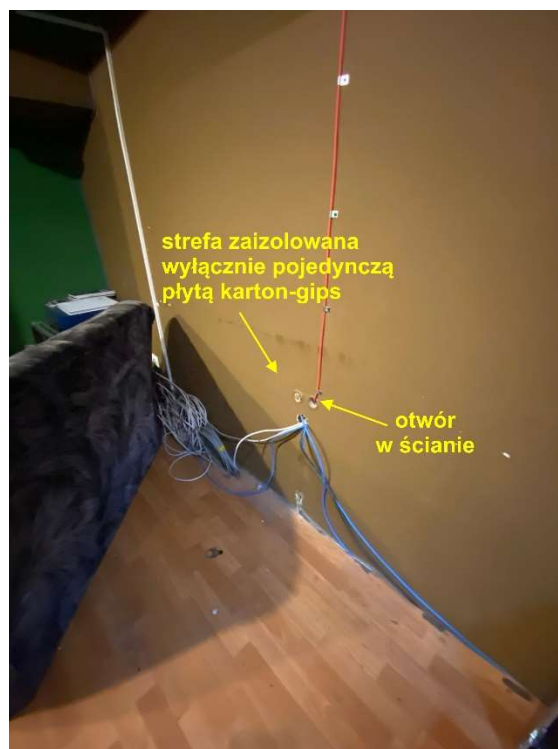
Rys.6. Biały hol i drzwi do Sali Witrażowej

Należy przewidzieć izolację akustyczną otworu w ścianie Sali Witrażowej, który przechodzi do kabiny reżyserki audio. Jest to szczególnie ważne ze względu na planowane otwarcie kabiny na salę teatralną. Ponadto w kabinie reżyserki strefa przy otworze zaizolowana jest wyłącznie cienką płytą karton – gips (brak wełny mineralnej). Dlatego projekt izolacji powinien być rozpatrywany kompleksowo. Należy zapewnić izolacyjność ściany (pomiędzy kabiną a salą witrażową) na poziomie nie mniejszym niż $R'_{A,2} \geq 45$ dB).

Na rysunku 7 pokazano widok na otwór w Sali Witrażowej. Natomiast na rysunkach 8 i 9 widoczne jest przebicie w ścianie w kabinie reżyserki.



Rys.7. Sala Witrażowa z widocznym w ścianie otworem



Rys.8. Kabina reżyserki z widocznym otworem w ścianie i strefą zaizolowaną pojedynczą płytą karton-gips



Rys.9. Widok przez otwór do Sali Witrażowej

2.9. POMIESZCZENIE MAGAZYNOWE POD REŻYSERKĄ

Planowane jest przebicie stropu z magazynu i połączenie schodami z reżyserką. W przypadku realizacji tego zamierzenia należy bezwzględnie zwiększyć izolacyjność akustyczną drzwi prowadzących do magazynu (rys. 10). Wymagana izolacyjność nie mniejsza niż $R_{A,2} = 37$ [dB].



Rys. 10. Drzwi do pomieszczenia magazynowego pod reżyserką

2.10. WENTYLACJA

System wentylacyjny powinien zostać zaprojektowany z założeniem generowania hałasu w sali nie większym niż krzywa NR20. Zaprojektowane rozwiązania nie mogą wpłynąć na zmniejszenie izolacyjności akustycznej pomiędzy salą i pomieszczeniami przyległymi. Projekt systemów wentylacyjnych (HVAC) należy skonsultować z akustykiem.

PODSUMOWANIE

Powodzenie realizacji remontu sali widowiskowej Teatru Animacji, będzie w znacznym stopniu zależne od rozwiązań projektowych w zakresie akustyki. Na etapie projektu należy przeprowadzić obliczenia symulacyjne z wykorzystaniem oprogramowania do prognozowania wartości parametrów akustycznych i auralizacji wykorzystującego metody geometryczne i ray-tracing np.: CATT-Acoustic, AFMG EASE z modulem AURA, Odeon czy Treble w celu potwierdzenia poprawności zaprojektowanych rozwiązań. Ocenie należy poddać co najmniej wartości czasu pogłosu, czasu wczesnego zaniku, klarowności dźwięku i zrozumiałości mowy.

Zmiany w zakresie wyposażenia nie mogą doprowadzić do istotnej zmiany warunków pogłosowych na widowni, a tym bardziej do pojawienia się wad akustycznych. Należy zmierzać do uzyskania większego stopnia rozproszenia dźwięku i wyrównania warunków akustycznych na widowni i scenie.

Po wykonaniu remontu należy wykonać kontrolne badania akustyczne i odnieść je do badań wykonanych przed remontem oraz do wartości parametrów akustycznych prognozowanych na etapie projektu.