

Wytyczne odnośnie zasad adaptacji akustycznej pomieszczeń stosowanych przy nauczaniu muzyki w celu obniżenia poziomu dźwięku docierającego do nauczycieli

Spis treści

1. Wizja lokalna.....	3
2. Przeprowadzenie pomiarów czasu pogłosu przed wykonaniem adaptacji.....	3
3. Pomiary poziomu dźwięku w pomieszczeniu podczas zajęć z gry na instrumentach.....	4
4. Opracowanie projektu adaptacji akustycznej	5
4.1 Podstawa przeprowadzenia projektu adaptacji.....	5
4.2 Cel i zakres projektu.....	5
4.3 Parametry wyjściowe i założenia akustyczne	5
4.4 Konstrukcje ustrojów akustycznych i użyte materiały pochłaniające.....	6
4.5 Obliczenia i symulacje akustyczne	8
4.6 Część rysunkowa projektu	9
5. Realizacja adaptacji akustycznej	11
6. Weryfikacja pomiarowa po przeprowadzeniu adaptacji	11
7. Literatura	11

1. Wizja lokalna

Pierwszym krokiem przy przystąpieniu do adaptacji akustycznej pomieszczenia jest przeprowadzenie wizji lokalnej. Należy zatem wykonać:

- Pomiary wymiarów pomieszczeń,
- Spis istotnych na akustykę elementów pomieszczenia,
- Udokumentować stan wyjściowy pomieszczenia poprzez wykonanie fotografii.

2. Przeprowadzenie pomiarów czasu pogłosu przed wykonaniem adaptacji

Aby określić możliwość obniżenia poziomu dźwięku w pomieszczeniu poprzez adaptację akustyczną należy znać wyjściowy czas pogłosu pomieszczenia. Pomiary czasu pogłosu należy wykonać zgodnie z wymaganiami norm serii PN-EN ISO 3382. W przypadku pomieszczeń do nauki muzyki najbardziej odpowiednia jest norma PN-EN ISO 3382-2:2010P [1].

Zgodnie z zapisami tej normy pomiary czasu pogłosu powinny być przeprowadzane w pomieszczeniach bez ludzi. Jednakże ze względu na to, że pomiar czasu pogłosu będzie używany do obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego, czyli czas pogłosu będzie także mierzony po adaptacji akustycznej, dopuszcza się przeprowadzenie pomiaru z osobami, przy czym liczba obecnych osób w pomieszczeniu podczas obu pomiarów powinna być taka sama. W pomiarach czasu pogłosu powinno być używane źródło dźwięku o charakterystyce wszechkierunkowej. Mikrofon stosowany do pomiaru ciśnienia akustycznego powinien być wszechkierunkowy o średnicy nie przekraczającej 14 mm lub 27 mm w przypadku mikrofonów ciśnieniowych lub pola swobodnego, ale wyposażonych w korektor zapewniający płaską charakterystykę częstotliwościową w polu rozproszonym. Filtry oktafowe lub 1/3 oktafowe powinny być zgodne z PN-EN 61260:2000P [2].

W przypadku pomiarów czasu pogłosu używanego do korekcji poziomu ciśnienia akustycznego wystarczy zastosować metodę przybliżoną. W metodzie tej pomiar należy wykonać przynajmniej dla jednej pozycji źródła i przynajmniej dwóch pozycji mikrofonu. Zatem wynik pomiaru powinien być średnią dla minimum dwóch kombinacji źródło-mikrofon. Wykonanie pomiarów z większą liczbą kombinacji źródło-mikrofon zapewni jednakże większą dokładność pomiaru.

Pozycja źródła dźwięku powinna być zbliżona do miejsca w pomieszczeniu gdzie znajduje się zazwyczaj uczeń podczas gry. Pozycje mikrofonów powinny być oddalone od siebie

przynajmniej o około 2 m. Mikrofon powinien też być oddalony od najbliższej powierzchni odbijającej o około 1 m. Należy unikać ustawiania mikrofonu zbyt blisko źródła w celu uniknięcia zbyt silnego wpływu dźwięku bezpośredniego.

Do pomiarów czasu pogłosu w salach do nauki muzyki można wykorzystywać jako źródło sygnału testowego zarówno szum (losowy lub pseudolosowy) jak również sygnały impulsowe (strzały pistoletowe, impulsy z iskrownika, impulsy szumu) czy też sygnał "chirps" oraz MLS. Należy pamiętać aby poziom ciśnienia akustycznego sygnału testowego był wyższy o 35 dB lub 45 dB od szumu tła odpowiednio w przypadku pomiaru T_{20} i T_{30} .

3. Pomiary poziomu dźwięku w pomieszczeniu podczas zajęć z gry na instrumentach

W celu określenia narażenia nauczycieli muzyki na hałas oraz możliwości jego ograniczenia należy przeprowadzić pomiary parametrów charakteryzujących hałas tj. równoważnego poziomu ciśnienia akustycznego ($L_{Aeq,T}$), maksymalnego poziomu dźwięku skorygowanego charakterystyką częstotliwościową A ($L_{A,max}$) oraz szczytowego poziomu dźwięku skorygowanego charakterystyką częstotliwościową C ($L_{C,peak}$). Ponadto należy wyznaczyć na podstawie $L_{Aeq,T}$ poziom ekspozycji na hałas odniesiony do 8-godzinnego dnia pracy ($L_{EX,8h}$). Charakter pracy nauczyciela muzyki może także wymagać wyznaczenia poziomu ekspozycji na hałas odniesionego do tygodnia pracy ($L_{EX,w}$).

Pomiary hałasu na stanowiskach pracy powinny być przeprowadzane zgodnie z wymaganiami norm PN-N-01307:1994P [3] i PN-EN 9612:2011P [4]. Pomiary te mogą być wykonywane z użyciem mierników poziomu dźwięku lub indywidualnych mierników ekspozycji (dozymetrów). Używany przy pomiarach hałasu wśród nauczycieli muzyki miernik poziomu dźwięku powinien spełniać wymagania normy PN-EN 61672-1:2005P [5] dla przyrządów pomiarowych klasy 1 lub 2. Jednakże, preferowane są mierniki klasy dokładności 1. Dozymetr zaś powinien spełniać wymagania normy PN-EN 61252:2000P [6], jednakże zalecane jest stosowanie dozymetrów również spełniających wymagania normy PN-EN 61672-1:2005P [5] dla przyrządów pomiarowych klasy 1.

Używany miernik powinien być kalibrowany przez użytkownika co najmniej przed każdą serią pomiarów hałasu i po każdej serii pomiarów hałasu kalibratorem spełniającym wymagania podane w normie PN-EN 60942:2005P [7] dla klasy 1.

Według normy PN-EN ISO 9612:2011P [4] pomiary hałasu miernikiem poziomu dźwięku powinny być wykonywane bez udziału pracownika lub bezpośrednio przy uchu pracownika. Mikrofon na stanowisku pracy, gdy obecność pracownika nie jest wymagana, powinien być umieszczony w położeniu, w którym zwykle znajduje się głowa pracownika. W innych

sytuacjach, gdy wymagana jest obecność pracownika na stanowisku pracy, mikrofon powinien być umieszczony, jeśli jest to możliwe, w odległości od 0,1 m do 0,4 m od wejścia do przewodu słuchowego, po stronie ucha narażonego na wyższe wartości hałasu.

W przypadku pracy nauczycieli muzyki nie jest możliwe, aby wykonywać pomiar miernikiem poziomu dźwięku bez obecności pracownika. Należy zatem wykonywać pomiary w trakcie zajęć w miejscu przebywania nauczyciela możliwie jak najbliżej przewodu słuchowego nauczyciela.

Praca nauczycieli muzyki charakteryzuje się złożonym i niejednorodnym rozkładem zajęć, w skład których wchodzi lekcje indywidualne, praca z zespołami kameralnymi i praca z orkiestrą. Pomiary hałasu powinny uwzględniać wszystkie zajęcia w których nauczyciel uczestniczy, zatem bardziej odpowiednim przyrządem stosowanym przy pomiarach parametrów hałasu docierającego do nauczycieli muzyki jest dozymetr. Według normy PN-EN ISO 9612:2011P [4] mikrofon dozymetru hałasu powinien być zamocowany nad ramieniem osoby badanej, w odległości co najmniej 0,1 m od wejścia kanału ucha zewnętrznego po stronie ucha bardziej narażonego na hałas oraz około 0,04 m powyżej ramienia.

Należy także pamiętać aby w ocenie narażenia uwzględnić obciążenie hałasem związane z pozadydaktyczną działalnością nauczycieli muzyki, którzy w przypadku większości osób są czynnymi artystami występującymi indywidualnie lub będącymi członkami orkiestr.

4. Opracowanie projektu adaptacji akustycznej

Projekt adaptacji akustycznej powinien zawierać zagadnienia podane w p. 4.1 do 4.6.

4.1 Podstawa przeprowadzenia projektu adaptacji

Należy podać postawy formalne (np. umowa) i merytoryczne (np. doświadczenie realizacyjne) przeprowadzenia adaptacji.

4.2 Cel i zakres projektu

Należy podać, cel projektu tj. obniżenie poziomu dźwięku podczas zajęć z gry na instrumentach, a tym samym poprawi warunki pracy nauczycieli.

Należy określić jakie sale będą poddane adaptacji.

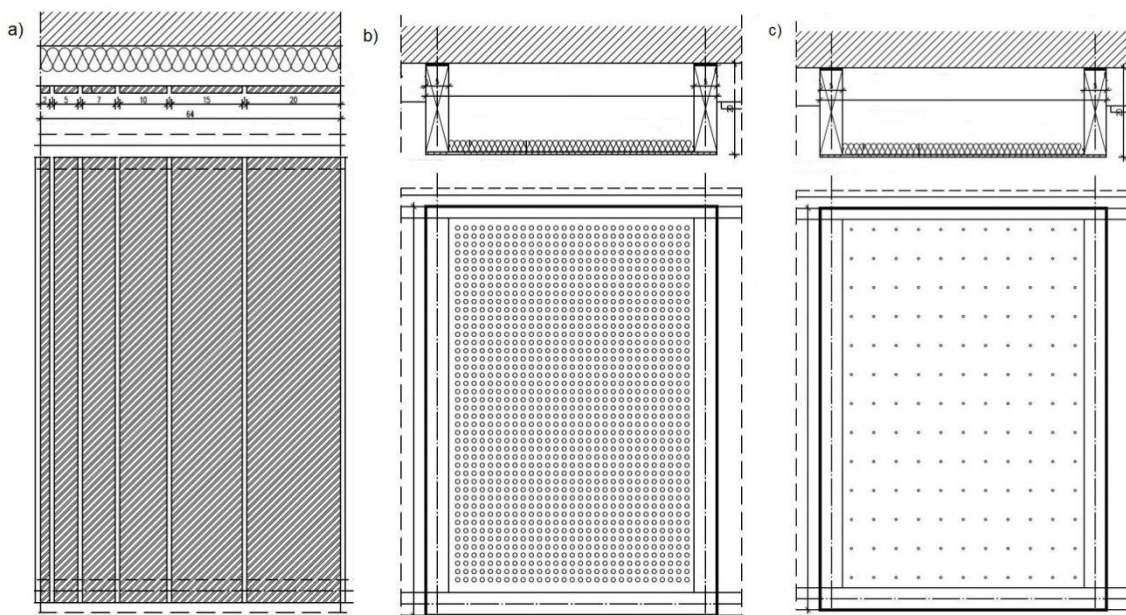
4.3 Parametry wyjściowe i założenia akustyczne

Należy podać kubaturę pomieszczeń poddanych adaptacji, zmierzony czas pogłosu, optymalny czas pogłosu uzyskany po wprowadzeniu adaptacji (na podstawie obliczeń lub z użyciem programu komputerowego), parametry hałasu zmierzone podczas zajęć, obniżenie poziomu dźwięku po wprowadzeniu adaptacji. Optymalny czas pogłosu w salach służących do nauki muzyki nie powinien być krótszy niż 0,2 do 0,3 s w zakresie od 125 do 4000 Hz.

4.4 Konstrukcje ustrojów akustycznych i użyte materiały pochłaniające

Należy podać jakie ustroje akustyczne i materiały pochłaniające zostaną użyte do adaptacji akustycznej. Należy podać dokładne informacje z jakich elementów budowlanych zostaną wykonane ustroje. Należy także podać współczynniki pochłaniania poszczególnych ustrojów i materiałów pochłaniających wykorzystanych do adaptacji.

Przykłady schematów ustrojów akustycznych, które można umieszczać na ścianach sal służących do nauki gry na instrumentach zostały przedstawione na rysunku 1.

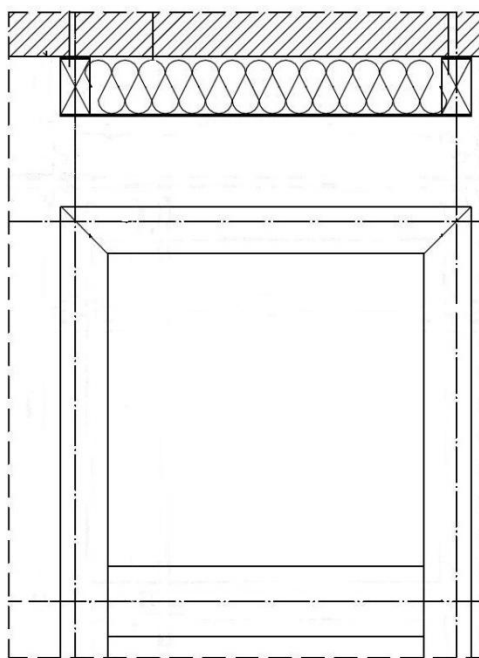


Rys. 1 Ustroje akustyczne a) szczelinowy, b) perforowany 25%, c) perforowany 5% [8]

Przykładowy przedstawiony na rys. 4.11 a) ustrój szczelinowy składa się z 6 desek o grubości 15 mm o zróżnicowanych szerokościach (20 cm, 15 cm, 10 cm, 7 cm, 5 cm i 2 cm), mocowanych ze szczelinami szerokości 10 mm. Za deskami umieszczona jest wełna mineralna o grubości 5 cm. Ustrój taki zapewnia równomierne pochłanianie dźwięku w szerokim zakresie częstotliwości. Ustrój akustyczny perforowany 25% zbudowany jest ze sklejki z wywierconymi otworami o średnicy 5 mm. Na wewnętrznej stronie sklejki znajduje się wełna mineralna o grubości 2,5 cm. Ustrój ten zapewnia poprawę pochłaniania w zakresie

częstotliwości powyżej 500 Hz. Ustrój akustyczny perforowany 5% wykonany jest także ze sklejki grubości 6 mm z wywierconymi otworami o średnicy 5 mm. Wewnątrz ustroju znajduje się wełna mineralna o grubości 2,5 cm. Współczynnik pochłaniania tego ustroju osiąga najwyższe wartości przy niskich częstotliwościach (125 Hz).

Na suficie sal służących do nauki gry na instrumentach powinno się umieszczać modułowy sufit podwieszany. W przypadku, gdy nie takiej możliwości np. z powodu występowania trudnych do przesunięcia lamp sufitowych można zastosować ustrój sufitowy. Ustrój taki można zbudować z płyty z wełny mineralnej np. URSA AKP 3/V o wymiarach 60x60 cm i grubości 10 cm umieszczonej w drewnianym stelażu (rys. 2).



Rys. 2 Ustrój akustyczny sufitowy [8]

W celu obniżenia poziomu hałasu, na ścianach z oknem należy umieścić kotary welurowe. Na podłodze pomieszczeń należy za to stosować dywany lub wykładziny dywanowe. W tabeli 1 przedstawiono współczynniki pochłaniania przedstawionych ustrojów i materiałów pochłaniających [8, 9, 10, 11].

Tab.1. Wartości współczynnika pochłaniania przykładowych ustrojów i materiałów

	Częstotliwość, Hz					
	125	250	500	1000	2000	4000
Ustrój szczelinowy	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ustrój perforowany 25%	0,4	0,5	1	1	1	1
Ustrój perforowany 5%	0,9	0,6	0,4	0,3	0,1	0,1
Ustrój sufitowy (np. URSA AKP 3/V)	0,65	1	1	1	1	1
Sufit podwieszany (np. Rockfon Koral)	0,7	0,9	1	1	1	1
Kotary welurowe	0,14	0,35	0,53	0,72	0,7	0,65
Wykładzina dywanowa	0,02	0,06	0,14	0,37	0,6	0,65

W projekcie należy także uwzględnić potrzebę umieszczenia szaf z frontami wykonanymi z paneli ustrojów akustycznych, tak aby w zaadaptowanej sali nie było konieczne umieszczenie dodatkowych szaf, które pogorszyłyby akustykę wnętrza.

4.5 Obliczenia i symulacje akustyczne

Na podstawie znajomości współczynników pochłaniania i pola powierzchni elementów powierzchni znajdujących się w pomieszczeniu poddanym adaptacji akustycznej należy obliczyć czas pogłosu tego pomieszczenia.

W tym celu można wykorzystać wzór Eyringa który jest stosowany do pomieszczeń o krótkim czasie pogłosu.

$$T = \frac{-0.161V}{S \ln(1 - \alpha_{sr})} \text{ [s]} \quad (1)$$

gdzie: V oznacza objętość pomieszczenia w m³,

S jest to pole powierzchni ograniczającej pomieszczenie w m²,

α_{sr} jest to średni współczynnik pochłaniania dźwięku, obliczany ze wzoru:

$$\alpha_{sr} = \frac{\alpha_1 S_1 + \alpha_2 S_2 + \dots + \alpha_n S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (2)$$

gdzie: n oznacza kolejne elementy w pomieszczenia o różnych współczynnikach pochłaniania dźwięku (α) i ich pole powierzchni (S).

Następnie należy obliczyć obniżenie poziomu hałasu ze wzoru:

$$\Delta L = 10 \text{Log} \frac{T_1}{T_2} \quad (3)$$

Gdzie T_1 to zmierzony czas pogłosu pomieszczenia przed przystąpieniem adaptacji, T_2 to zakładany czas pogłosu po przeprowadzeniu adaptacji.

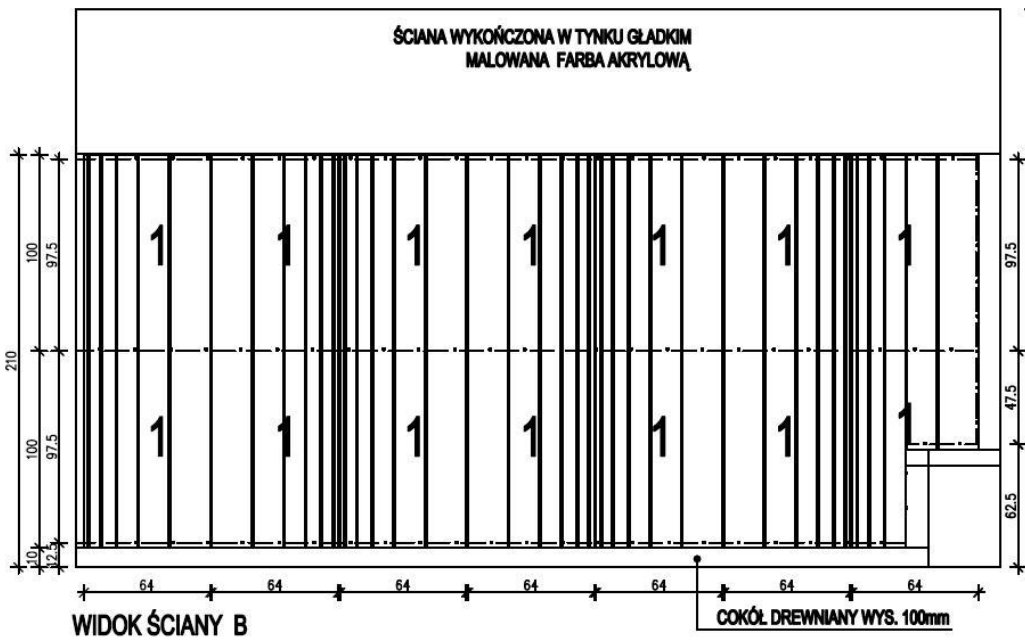
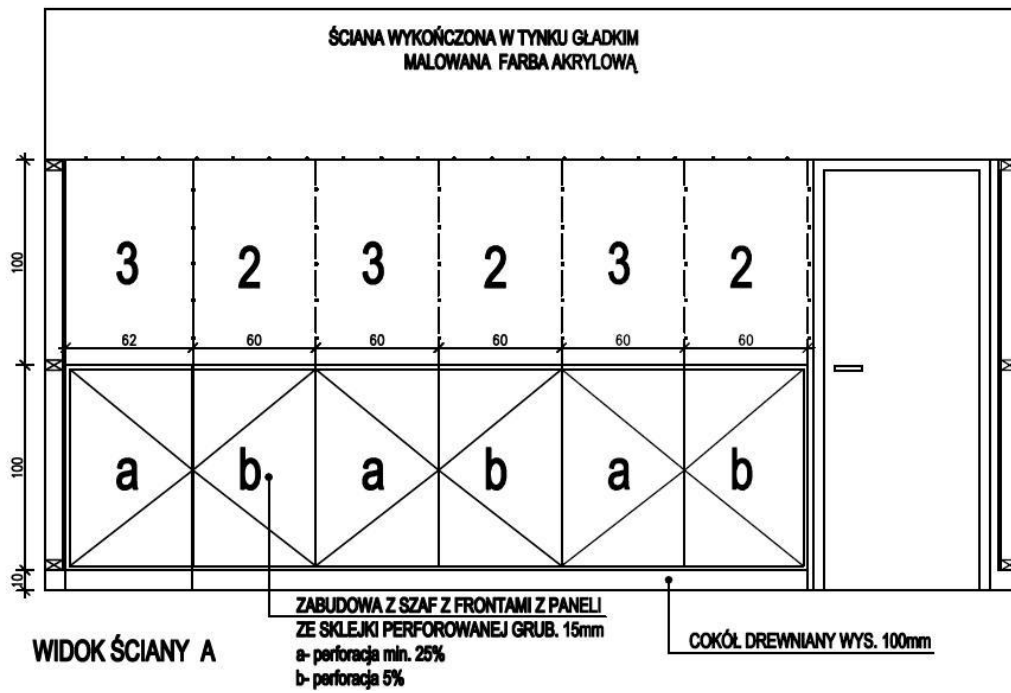
Na podstawie pomiarów hałasu w pomieszczeniu i powyższych obliczeń można określić czy poziom dźwięku w pomieszczeniu obniży się do wartości bezpiecznych. W innym przypadku powinno się zweryfikować założenia akustyczne.

Obliczenia można zastąpić symulacjami w programach akustycznych. Jednym z dostępnych narzędzi służących do takich symulacji jest program Catt-Acoustic. W celu wyznaczenia czasu pogłosu pomieszczenia, które ma zostać poddane adaptacji akustycznej w programie Catt-Acoustic należy:

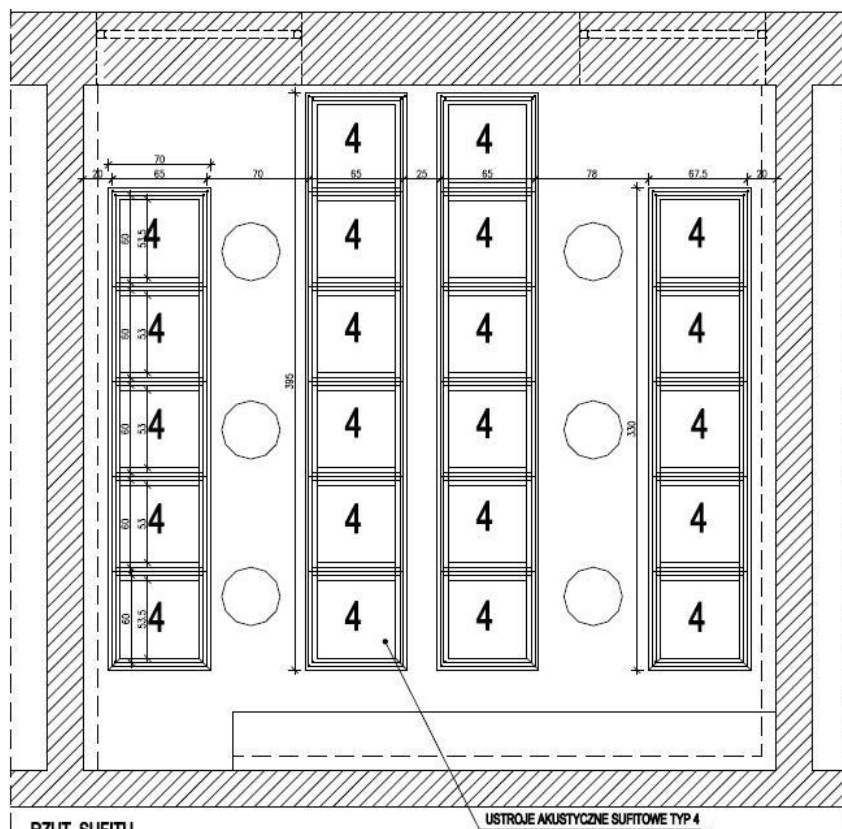
- utworzyć plik "master.geo" określający geometrię pomieszczenia. Należy to zrobić poprzez podanie współrzędnych narożników wszystkich płaszczyzn lub za pomocą programu SketchUp, w którym można wykonać projekt graficzny i następnie projekt ten przekonwertować programem Sucatt,
- zdefiniować w pliku "abs_defs.geo" współczynniki pochłaniania wszystkich zastosowanych w projekcie elementów pomieszczenia,
- zdefiniować w pliku "planes.geo" płaszczyzny pomieszczenia zawarte w poszczególnych narożnikach,
- określić umiejscowienie odbiornika w pliku rec.loc,
- określić umiejscowienie źródła w pliku src.loc,
- uruchomić symulację w oknie modeling.

4.6 Część rysunkowa projektu

Część rysunkowa projektu powinna zawierać: zasady budowy poszczególnych ustrojów akustycznych, rzuty sufitu i podłogi sal poddanych adaptacji oraz widoki ścian wraz z umieszczonymi na powierzchniach proponowanymi ustrojami i materiałami pochłaniającymi z dokładnymi wymiarami poszczególnych elementów pomieszczenia. Na rysunkach 3 i 4 przedstawiono przykładowe rysunki z widokami ścian i rzutem sufitu z umieszczoną na nich adaptacją akustyczną.



Rys. 3 Widok ścian [8]



Rys. 4. Rzut sufitu [8]

5. Realizacja adaptacji akustycznej

Na podstawie projektu realizuje się adaptację akustyczną przy użyciu materiałów i urządzeń, które odpowiadają wymogom wyrobów dopuszczonych do obrotu i powszechnego lub jednostkowego stosowania w budownictwie, zgodnie z art. 10 ustawy - Prawo budowlane [12].

W zaadaptowanych salach należy zapewnić skuteczną wentylację, tak aby pozbyć się zapachu wydzielanego przez elementy użyte do adaptacji.

6. Weryfikacja pomiarowa po przeprowadzeniu adaptacji

Po przeprowadzonej adaptacji akustycznej powinno się pomiarowo zweryfikować czas pogłosu oraz obniżenie hałasu podczas zajęć w adaptowanej sali.

7. Literatura

- [1] PN-EN ISO 3382-2:2010P Akustyka -- Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń -- Część 2: Czas pogłosu w zwyczajnych pomieszczeniach
- [2] PN-EN 61260:2000P Elektroakustyka -- Filtry pasmowe o szerokości oktawy i części oktawy

- [3] PN-N-01307:1994P Hałas - Dopuszczalne wartości parametrów hałasu w środowisku pracy - Wymagania dotyczące wykonywania pomiarów.
- [4] PN-EN 9612:2011P Akustyka -- Wyznaczanie zawodowej ekspozycji na hałas -- Metoda techniczna.
- [5] PN-EN 61672-1:2005P Elektroakustyka - Mierniki poziomu dźwięku - Część 1: Wymagania.
- [6] PN-EN 61252:2000P Elektroakustyka -- Wymagania dotyczące indywidualnych mierników ekspozycji na dźwięk.
- [7] PN-EN 60942:2005P Elektroakustyka -- Kalibratory akustyczne.
- [8] Więckowska-Kosmala E., Czechowska M., Projekt adaptacji akustycznej 4 sal ćwiczeń muzycznych, Warszawa 2012.
- [9] SADOWSKI J. Akustyka architektoniczna. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Poznań - Warszawa 1976.
- [10] <http://www.ursa.pl/pl-pl/produkty/Documents/karta-techniczna-akp-3-v.pdf>
- [11] http://produkty.rockfon.pl/media/153370/datasheet_pl_koral_02.2011.pdf
- [12] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane. Dz.U. 1994 Nr 89 poz. 414.

Opracowano i wydano w ramach II etapu programu wieloletniego "Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy" (2011-2013) finansowanego w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

Koordinator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy