



PRACOWNIA AKUSTYCZNA

Główny projektant	dr inż. Piotr Z. Kozłowski
Projektant prowadzący	inż. Bartłomiej Konik
Zespół projektowy	mgr inż. Mikołaj Pawelec
Sprawdzenie	dr inż. Romuald Bolejko
Zadanie	Modernizacja kompleksu studyjnego Radia PiK w Bydgoszczy
Temat	Opracowanie projektu wykonawczego z zakresie ochrony przeciwdźwiękowej i akustyki wnętrz dla dwóch pomieszczeń ze studiami nagraniowymi i reżyserki.
Nazwa obiektu	Polskie Radio - Regionalna Rozgłośnia w Bydgoszczy „Polskie Radio Pomorza i Kujaw” S.A.
Adres obiektu	ul. Gdańska 48-50, 85-006 Bydgoszcz
Inwestor	Polskie Radio - Regionalna Rozgłośnia w Bydgoszczy „Polskie Radio Pomorza i Kujaw” S.A.
Adres inwestora	ul. Gdańska 48-50, 85-006 Bydgoszcz
Stadium	Projekt wykonawczy
Tom	Opis techniczny
Edycja	Ostateczna v.01
Branża	Ochrona przeciwdźwiękowa, akustyka wnętrz

Niniejsze opracowanie stanowi własność intelektualną Pracowni Akustycznej Kozłowski sp. j. i objęte jest prawem autorskim zgodnie z ustawą z dnia 04.02.1994 „O prawie autorskim i prawach pokrewnych”. Żadna z jego części nie może być kopiowana, powielana, udostępniana w żadnej formie, również elektronicznej, bez wyraźnej pisemnej zgody autorów. Opracowanie to może być wykorzystane jedynie zgodnie z przeznaczeniem, dla którego zostało wykonane, chyba że właściciele praw autorskich podpisali na to zgodę wydaną w następstwie odpowiedniej umowy handlowej. Do czasu uregulowania pełnego wynagrodzenia Pracowni Akustycznej Kozłowski sp. j. jest ona jedynym właścicielem wszelkich praw autorskich oraz praw do wykorzystania niniejszej dokumentacji.

© Copyright by Pracownia Akustyczna Kozłowski sp. j., Wrocław, 2019

Dane jednostki projektowania:

PRACOWNIA AKUSTYCZNA Kozłowski sp. j.

ul. Opolska 140

52-014 Wrocław

NIP: 899-261-33-93

REGON: 020574694

KRS: 0000286159

tel. +48 71 794 93 31

fax. +48 71 722 08 19

web: www.akustyczna.pl

email: pracownia@akustyczna.pl

Spis zawartości projektu:

1. Część opisowa (Zawartość wedle spisu treści na str. 7)
2. Część rysunkowa:
 - 1) AW01 – Rozmieszczenie adaptacji akustycznej - Studio SIII
 - 2) AW02 – Rozmieszczenie adaptacji akustycznej – Reżyserka RIII
 - 3) AW03 – Rozmieszczenie adaptacji akustycznej - Studio SIII-A
 - 4) AU01 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UW01
 - 5) AU02 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UW02
 - 6) AU03 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UR01 + UW03
 - 7) AU04 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UPRF01
 - 8) AU05 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UPRF02
 - 9) AU06 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UPRF03
 - 10) AU07 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego UPRF04
 - 11) AU08 – Detal konstrukcji ustroju akustycznego przejezdznego E01

Spis treści

Dane jednostki projektowania:	3
Spis zawartości projektu:	5
Spis treści	7
Spis tabel w części opisowej	9
Spis rysunków w części opisowej	9
1. Zestawienie symboli projektowych	11
2. Przeznaczenie i program użytkowy obiektu	12
3. Podstawa opracowania	13
3.1. Podstawa formalna	13
3.2. Podstawa merytoryczna	13
4. Ochrona przeciwdźwiękowa	15
4.1. Źródła hałasu	15
4.2. Ochrona środowiska przed hałasem	15
4.3. Dopuszczalny poziom tła akustycznego	15
4.4. Izolacyjność akustycznej stolarki okiennej	16
4.5. Izolacyjność akustycznej stolarki drzwiowej	16
5. Akustyka wnętrz	17
5.1. Założenia projektowe	17
5.1.1. Studio SIII	17
5.1.2. Reżysernia RIII	18
5.1.3. Studio SIII-A	18
5.2. Obliczenia	20
5.2.1. Studio SIII	20
5.2.2. Studio SIII-A	22
5.2.3. Reżyserka RIII	23
5.3. Rozwiązania materiałowe	25
5.4. Specyfikacje ustrojów	27
6. Procedury strojenia akustycznego	30
7. Podsumowanie	31

Spis tabel w części opisowej

Tab. 1.1. Zestawienie symboli projektowych	11
Tab. 4.1 Dopuszczalny poziom tła akustycznego	15
Tab. 4.2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywych oceny hałasu NR.	16
Tab. 4.3. Zalecana minimalna izolacyjność akustyczna stolarki drzwiowej.....	16
Tab. 5.1 Zestawienie wysokości pomieszczeń	25
Tab. 5.2 Zestawienie powierzchni materiałów i ustrojów akustycznych zastosowanych w studiu SIII.....	26
Tab. 5.3 Zestawienie powierzchni materiałów i ustrojów akustycznych zastosowanych w studiu SIII-A.	26
Tab. 5.4 Zestawienie powierzchni materiałów i ustrojów akustycznych zastosowanych w reżyserce RIII.	26
Tab. 5.5 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW01	27
Tab. 5.6 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW02–03	27
Tab. 5.7 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UR01	27
Tab. 5.8 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF01	28
Tab. 5.9 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF02	28
Tab. 5.10 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF03	28
Tab. 5.11 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF04	28
Tab. 5.12 Specyfikacja wymagań dla wykładziny	29
Tab. 5.13 Specyfikacja wymagań dla ustrojów przejezdnych E01	29

Spis rysunków w części opisowej

Rys. 5.1 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla studia SIII	17
Rys. 5.2 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla reżyserki RIII	18
Rys. 5.3 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla studia SIII-A.....	19
Rys. 5.4 Krzywa Bonello dla studia SIII.....	21
Rys. 5.5 Czas pogłosu w studiu SIII	21
Rys. 5.6 Krzywa Bonello dla studia SIII-A	22
Rys. 5.7 Czas pogłosu w studiu SIII-A	23
Rys. 5.8 Krzywa Bonello dla reżyserki RIII	24
Rys. 5.9 Czas pogłosu w pomieszczeniu reżyserki RIII.....	24

1. Zestawienie symboli projektowych

Tab. 1.1. Zestawienie symboli projektowych

Symbol	Opis
EW*	Elementy wentylacji
GE*	Gniazdo elektryczne
LP*	Lampa
PP*	Czujnik pożarowy
SK*	Sterowanie klimatyzacji
ST*	Skrzynka techniczna
UPRF01-04	Ustrój perforowany rezonansowy
UR01	Ustrój rozpraszający
UW01-03	Ustrój szerokopasmowy na bazie wełny mineralnej
ZG*	Zegar

* - Elementy nieobjęte projektem

2. Przeznaczenie i program użytkowy obiektu

Przedmiotem niniejszego opracowania są pomieszczenia studyjne mieszczące się w budynku Polskiego Radia PiK w Bydgoszczy. Projektowane pomieszczenia znajdują się w przestrzeni istniejącego już kompleksu studyjnego.

W skład kompleksu wchodzi następujące pomieszczenia:

- studio emisyjne SIII,
- reżyserka RIII,
- studio SIII-A,
- Newsroom (nie jest przedmiotem niniejszego opracowania).

Studio emisyjne SIII będzie umożliwiać prowadzenie programu radiowego przez maksymalnie jednego prowadzącego oraz uczestnictwo w programie maksymalnie 2 gości.

Funkcją główną reżyserki jest realizacja audycji odbywających się w studiu emisyjnym. W pomieszczeniu będzie znajdować się stanowisko realizatora oraz trzy miejsca dla gości. Zakłada się, że w pomieszczeniu będą przebywać maksymalnie 4 osoby.

Studio SIII-A umożliwia nagrywanie informacji słownych, komentarzy oraz rozmów, które są transmitowane na żywo. Zakłada się, że pomieszczenie będzie wykorzystywane jednocześnie przez dwie osoby.

3. Podstawa opracowania

3.1. Podstawa formalna

- [1] Umowa o dzieło nr ZL_301/2019 zawarta w dniu 15 kwietnia 2019 r. w Bydgoszczy pomiędzy Polskim Radiem – Regionalną Rozgłośnią W Bydgoszczy „Polskim Radiem Pomorza i Kujaw” S.A. a Pracownią Akustyczną Kozłowski spółka jawna na wykonanie projektu wykonawczego z zakresu ochrony przed hałasem i akustyki wnętrz w pomieszczeniach studyjnych Radia PiK w Bydgoszczy.

3.2. Podstawa merytoryczna

- [2] PN-B-02153:2002 Akustyka budowlana. Terminologia, symbole literowe i jednostki.
- [3] PN-EN ISO 11654:1999P Akustyka – Wyroby dźwiękochłonne używane w budownictwie – Wskaźniki pochłaniania dźwięku.
- [4] PN-EN ISO 3382-1:2009 Akustyka – Pomiar parametrów akustycznych pomieszczeń – Część 1: Pomieszczenia specjalne.
- [5] EBU Technical Recommendation R22-1999, Listening Conditions for the Assessment of Sound Programme Material, EBU Geneva.
- [6] Cox T.J., D’Antonio P., Acoustic absorbers and diffusers, Theory, design and application, Spon Press, London, 2004.
- [7] Ballou G., Handbook for sound engineers, Howard W.Sams & Company, USA, 1987.
- [8] Everest F. Alton, Podręcznik akustyki, Wydawnictwo Sonia Draga, 2009.
- [9] Sadowski J., Akustyka Architektoniczna, PWN, Warszawa, 1976.
- [10] Blair Benson K., Audio Engineering Handbook, McGraw-Hill, USA, 1988.
- [11] Long M., Arcitectural Acoustics, Elsevier Inc., USA, 2006.
- [12] AESTD1001.1.01-10 Multichannel surround sound systems and operations, AES Technical Council.
- [13] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 1 października 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku (Dz.U. 2012 poz.1109).
- [14] Raport z badań parametrów akustycznych pomieszczeń studyjnych Polskiego Radia PiK w Bydgoszczy wraz z koncepcją ochrony przeciwdźwiękowej i akustyki wnętrz.

4. Ochrona przeciwdźwiękowa

W niniejszym rozdziale podano wymagania dotyczące dopuszczalnych poziomów tła akustycznego poszczególnych pomieszczeń, oraz wymagania dotyczące minimalnej izolacyjności akustycznej, jaką powinna spełniać stolarka drzwiowa pomieszczeń.

Niniejsze opracowanie nie zawiera projektu ochrony przeciwdźwiękowej przed hałasem pochodzącym od systemu wentylacji.

Za zachowanie podanych w poniższej części opracowania wymaganych wartości i zaleceń odpowiedzialny jest osobiście dany projektant (architektury, konstrukcji, wentylacji, ogrzewania, instalacji sanitarnych, itp...).

4.1. Źródła hałasu

Pomieszczenie powinno być chronione ze względu na hałas powstający:

- na zewnątrz budynku, w tym komunikacja miejska i transport w otoczeniu budynku,
- w wyniku zjawisk atmosferycznych (deszcz, grad),
- wewnątrz budynku w wyniku użytkowania innych pomieszczeń zgodnie z ich przeznaczeniem,
- w wyniku działania urządzeń wyposażenia technicznego budynku,
- w wyniku działania technicznych instalacji wewnętrznych budynku, takich jak wentylacja, klimatyzacja, instalacje wodne, kanalizacyjne itp.

4.2. Ochrona środowiska przed hałasem

Emisja hałasu do środowiska na skutek użytkowania budynku nie może być większa, niż określona w rozporządzeniu [13]. Obiekt znajduje się na terenie strefy śródmiejskiej miast powyżej 100 tys. mieszkańców. Oznacza to, że dopuszczalny poziom emitowanego hałasu, wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A w dB, nie może być większy niż $L_{AeqD} = 55$ dB w porze dnia ($6^{00} - 22^{00}$) oraz $L_{AeqN} = 45$ dB w porze nocy ($22^{00} - 6^{00}$).

4.3. Dopuszczalny poziom tła akustycznego

Dopuszczalny poziom hałasu przenikającego do pomieszczeń studyjnych od wszystkich źródeł hałasu łącznie oraz dopuszczalny poziom hałasu przenikającego do pomieszczenia wyłącznie od wyposażenia technicznego budynku oraz innych urządzeń w budynku i poza budynkiem nie powinien przekraczać wartości wyrażonych za pomocą odpowiednich krzywych oceny hałasu NR.

Wymagane wartości dopuszczalnego poziomu tła akustycznego odnoszą się do typowych źródeł hałasu, których widmo ma charakter szerokopasmowy. W pomieszczeniach nie może być słyszalny hałas tonalny.

Tab. 4.1 Dopuszczalny poziom tła akustycznego

Pomieszczenie	Dopuszczalne całkowite tło akustyczne	Dopuszczalny łączny hałas od klimatyzacji, wentylacji i wyposażenia technicznego
Studio nagraniowe SIII	NR25	NR20
Reżyserka RIII	NR20	NR15
Studio nagraniowe SIII-A	NR20	NR15

Dla studia nagraniowego SIII ze względu na funkcję akustyczną pomieszczeń, hałas nie może przekroczyć wartości określonych krzywą oceny hałasu NR25. Dodatkowo hałas pochodzący od poszczególnych

instalacji technicznych, w tym od instalacji oświetlenia sali, klimatyzacji i od wentylacji, dla poszczególnych instalacji nie może być większy od określonego krzywą NR20.

Dla studia SIII-A oraz reżyserki RIII hałas nie może przekroczyć wartości określonych krzywą oceny hałasu NR20, a od poszczególnych instalacji technicznych nie może być większy od określonego krzywą NR15.

Wartości wymienionych krzywych oceny hałasu podane są w tabeli Tab. 4.2.

Tab. 4.2. Wartości poziomu ciśnienia akustycznego dla krzywych oceny hałasu NR.

f [Hz]→	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
NR15 [dB]	47,3	35,0	25,9	19,4	15,0	11,7	9,3	7,4
NR20 [dB]	51,3	39,4	30,6	24,3	20,0	16,8	14,4	12,6
NR25 [dB]	55,2	43,7	35,2	29,2	25,0	21,9	19,5	17,7

4.4. Izolacyjność akustycznej stolarki okiennej

Największy problem związany z tłem akustycznym w pomieszczeniach studyjnych związany jest z niską izolacyjnością akustyczną okien. Podczas przeprowadzania pomiarów akustycznych, wyraźnie było słychać przejeżdżające samochody i tramwaje. Zaleca się wymianę okien na spełniające izolacyjność R_{A2} minimum 45 dB lub jeśli jest to niemożliwe ze względu na ochronę zabytkowego charakteru założeń architektonicznych, zalecany jest montaż dodatkowego szklenia od wnętrza pomieszczenia o izolacyjności R_{A2} minimum 35 dB. Istnieje również możliwość stworzenia rozwiązania przypominającego okiennice z możliwością szczelnego zamykania od środka pomieszczenia.

4.5. Izolacyjność akustycznej stolarki drzwiowej

Wymagana izolacyjność akustyczna stolarki drzwiowej wyrażona jest poprzez ważony wskaźnik izolacyjności akustycznej R_{A1} .

W poniższej tabeli przedstawiono wymagania indywidualne dotyczące minimalnych wartości izolacyjności akustycznej dla stolarki drzwiowej analizowanych pomieszczeń.

Tab. 4.3. Zalecana minimalna izolacyjność akustyczna stolarki drzwiowej

Pomieszczenie	Pomieszczenie sąsiednie	Izolacyjność stolarki drzwiowej R_{A1} [dB]	Uwagi:
Studio nagraniowe SIII	Korytarz	≥ 37	uzyskanie niniejszej wartości wymaga zastosowania specjalistycznego rozwiązania
Reżyserka RIII	Korytarz	≥ 39	
Studio nagraniowe SIII	Korytarz	≥ 37	

Montaż stolarki należy powierzyć instalatorowi certyfikowanemu przez producenta wybranych drzwi, co zapewni uzyskanie deklarowanych w dokumentacji produktu parametrów izolacyjności akustycznej.

Obecnie pomieszczenia wyposażone są w stolarkę drzwiową opartą na produktach o podwyższonej izolacyjności i prawdopodobnie regulacja, wraz z wymianą uszczelnień, zapewni wymaganą izolacyjność.

5. Akustyka wewnątrz

Założenia projektowe opracowano ze względu na kubaturę i funkcję pomieszczenia na podstawie fachowej literatury [7], [8], [9], [10], [11], [12] oraz własnych doświadczeń autorów projektu.

5.1. Założenia projektowe

W podrozdziałach podano szczegółowe zestawy założonych parametrów akustycznych dla projektowanych pomieszczeń. Rodzaj parametrów/zestawów parametrów jest różny w zależności od funkcji akustycznej pomieszczeń.

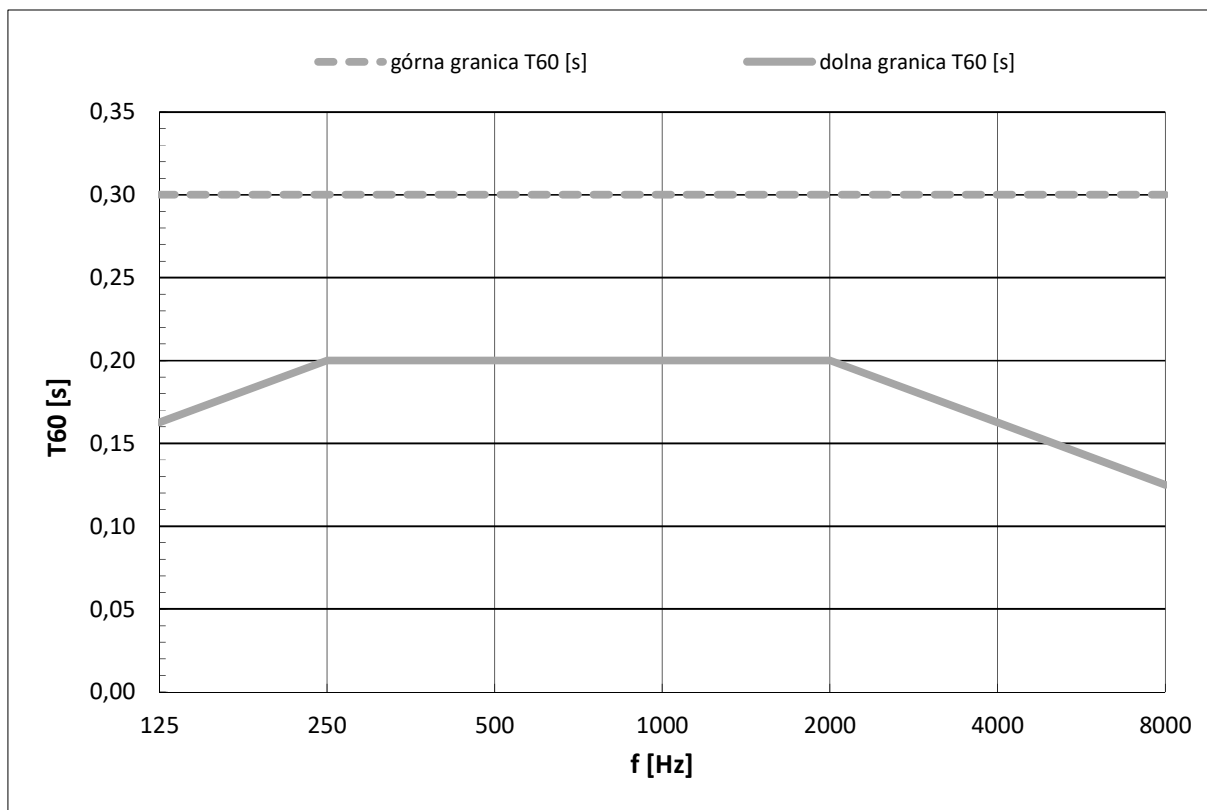
Zawarta w projekcie metodyka określania nierównomierności częstotliwościowej charakterystyki czasu pogłosu T_{60} jest stosowana w literaturze fachowej [12].

5.1.1. Studio SIII

Wartość projektowa czasu pogłosu dla pustego studia emisyjnego wynosi 0,25 s [10]. Częstotliwościowa charakterystyka T_{60} powinna mieścić się w granicach tolerancji względem wartości zalecanej (Rys. 5.1):

- -35/+20 % dla częstotliwości 125 Hz,
- ± 20 % dla częstotliwości 250 - 2 000 Hz,
- -35/+20 % dla częstotliwości 4 000 Hz,
- -50/+20 % dla częstotliwości 8 000 Hz.

Proporcje pomieszczenia spełniają Kryterium Bolta oraz Bonello [8].



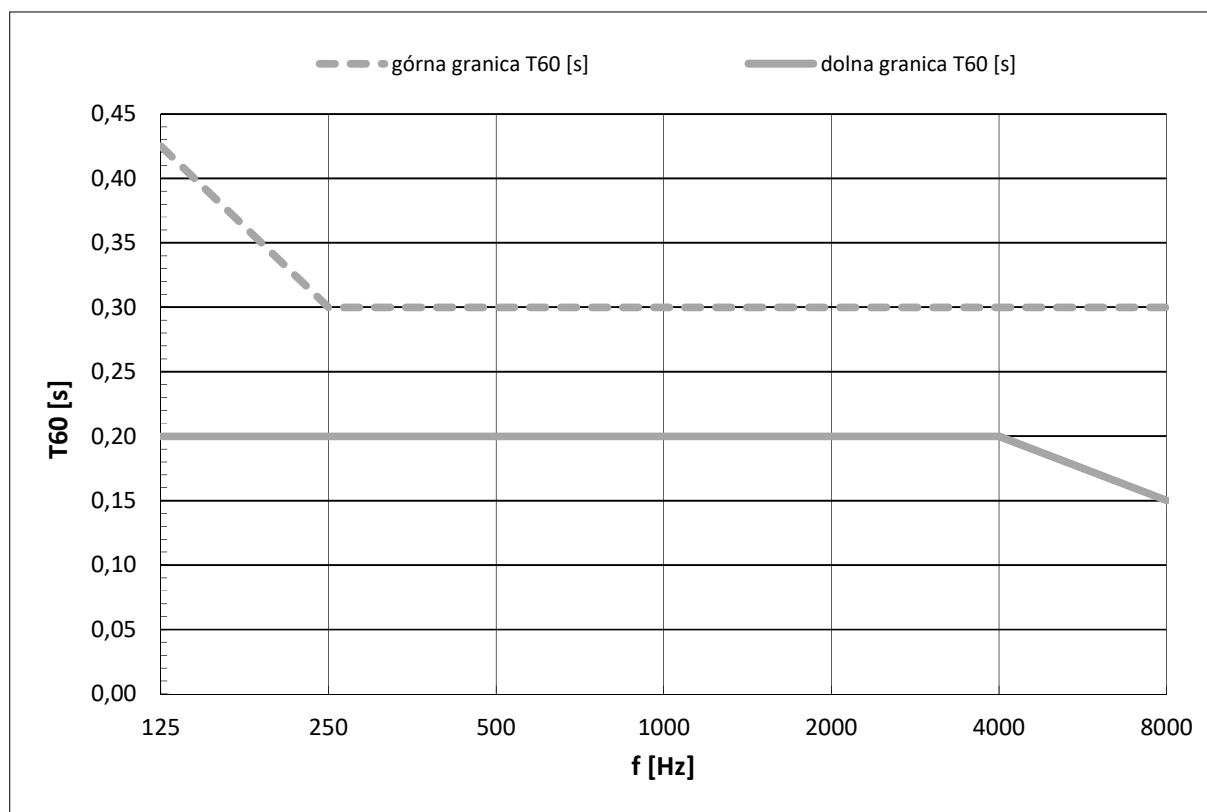
Rys. 5.1 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla studia SIII

5.1.2. Reżysernia RIII

Wartość projektowa czasu pogłosu dla pustej reżyserni wynosi 0,25 s [10]. Częstotliwościowa charakterystyka T_{60} powinna być przebiegiem monotonicznie malejącym, bez wyraźnych lokalnych maksimów i minimów oraz mieścić się w granicach tolerancji względem wartości zalecanej (Rys. 5.2):

- -0,05/+0,18 s dla częstotliwości 125 Hz,
- $\pm 0,05$ s dla częstotliwości 250 - 4 000 Hz,
- -0,10/+0,05 s dla częstotliwości 8 000 Hz,

Dla zachowania odpowiednich proporcji pomieszczenia pod względem akustycznym w celu spełnienia kryterium Bolta oraz Bonello [8], projektant zaleca zmniejszenie szerokości reżyserki RIII do 4,10 m. Nowa przedścianka powinna być wykonana z trzech płyt gipsowo-kartonowych o grubości 15 mm każda, układanych naprzemiennie. Rozstaw profili w konstrukcji nośnej nie większy niż 30 cm. Zaleca się powstałą pustkę powietrzną wypełnić wełną mineralną o grubości min. 100 mm. Jeśli ze względów technicznych i kolizji elementami technologicznymi takich jak elementy wentylacji, których nie będzie można przesunąć, projektant dopuszcza zwiększenie szerokości reżyserki RIII względem niniejszego projektu do szerokości pozwalającej bezproblemowe wybudowanie przedścianki i osadzenie na niej elementów adaptacji akustycznych.



Rys. 5.2 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla reżyserki RIII

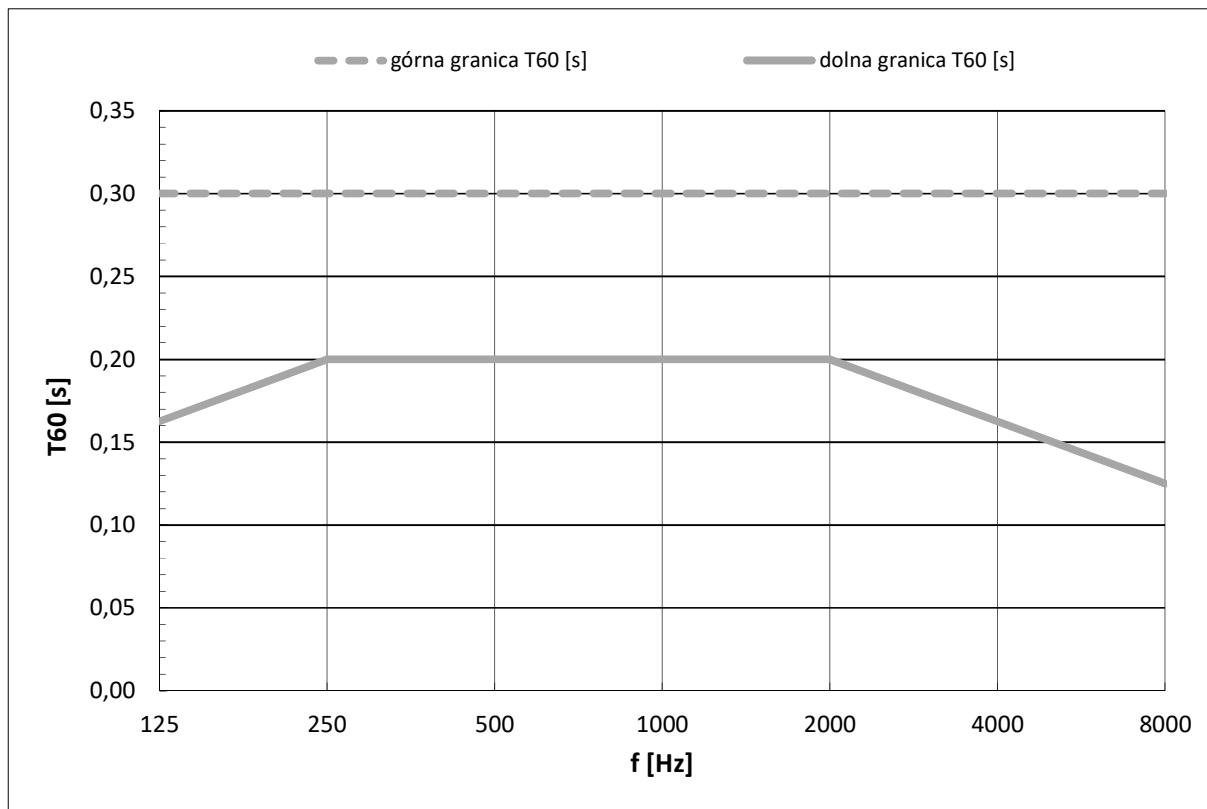
5.1.3. Studio SIII-A

Wartość projektowa czasu pogłosu dla pustego studia emisyjnego wynosi 0,25 s [10]. Częstotliwościowa charakterystyka T_{60} powinna mieścić się w granicach tolerancji względem wartości zalecanej (Rys. 5.3):

- -35/+20 % dla częstotliwości 125 Hz,

- $\pm 20\%$ dla częstotliwości 250 - 2 000 Hz,
- $-35/+20\%$ dla częstotliwości 4 000 Hz,
- $-50/+20\%$ dla częstotliwości 8 000 Hz.

Proporcje pomieszczenia spełniają Kryterium Bolta oraz Bonello [8].



Rys. 5.3 Granice dopuszczalnych wartości czasu pogłosu dla studia SIII-A

5.2. Obliczenia

Podczas projektowania akustyki pomieszczeń kompleksu studyjnego zastosowano metodę falową oraz statystyczną. Wymienione metody były stosowane w zakresie zależnym od funkcji akustycznej pomieszczenia oraz jego kubatury i kształtu. Podstawową metodą obliczeniową dla wszystkich projektowanych pomieszczeń była metoda statystyczna.

Współczynniki pochłaniania dźwięku materiałów, zostały zaczerpnięte z literatury fachowej [6], [9] oraz danych dostarczonych przez producentów materiałów wykończeniowych. Współczynniki pochłaniania dźwięku ustrojów perforowanych uzyskano metodą obliczeniową. Pochłanianie dźwięku przez powietrze uwzględniono we wszystkich projektowanych pomieszczeniach.

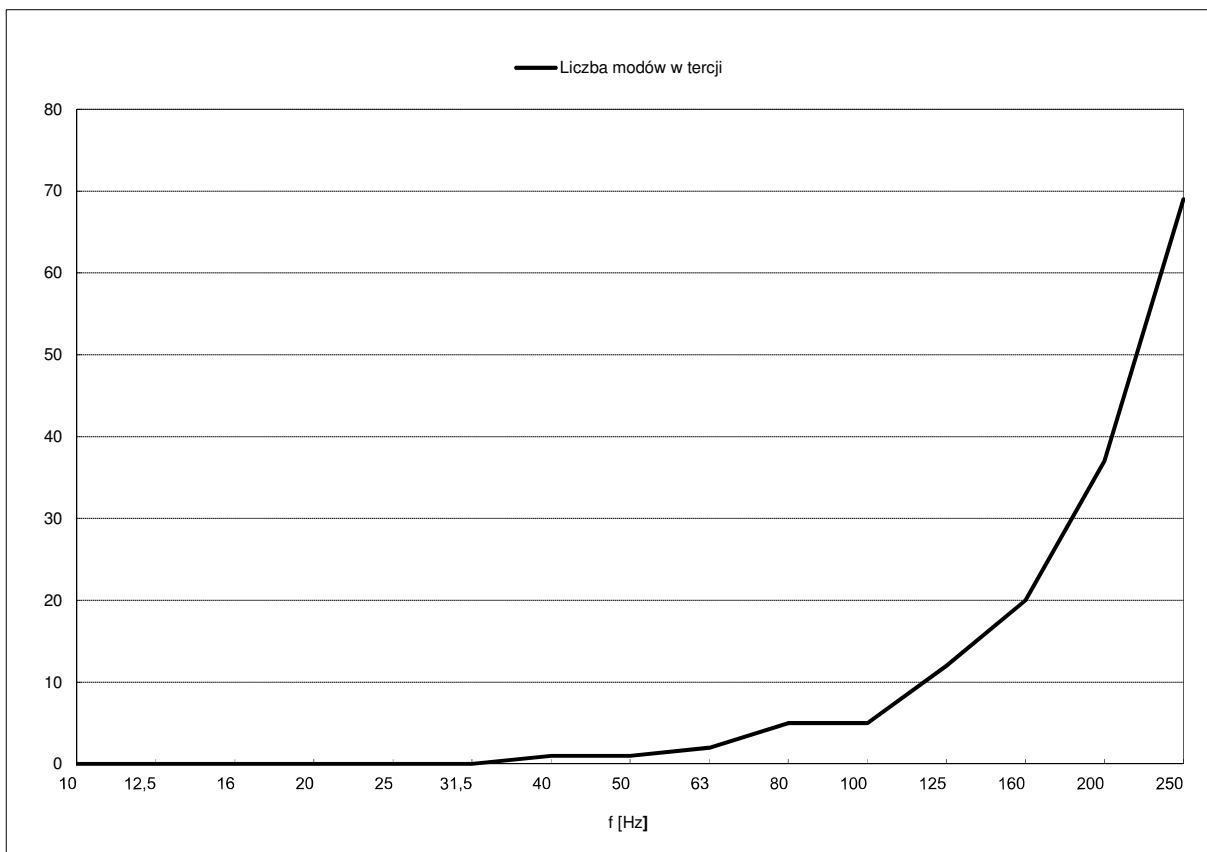
5.2.1. Studio SIII

Podstawowe dane pomieszczenia:

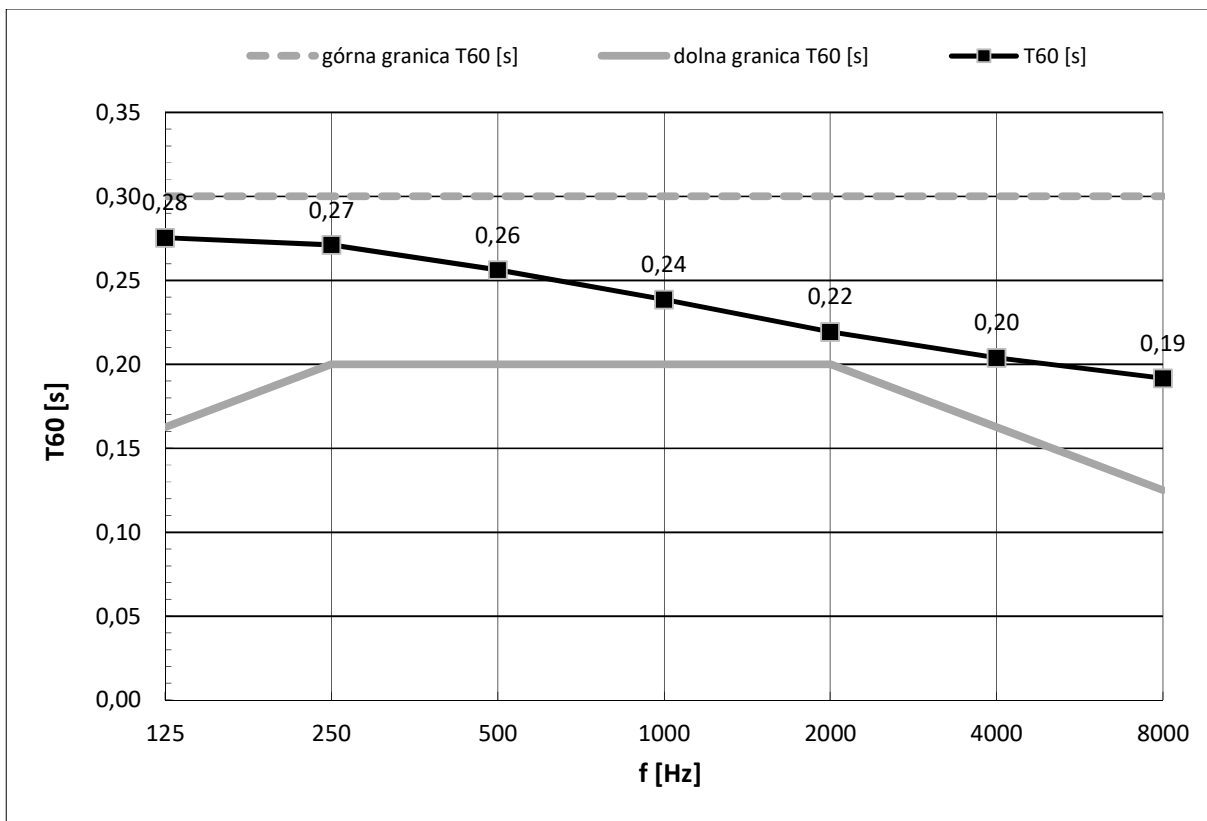
- powierzchnia użytkowa: 17,0 m²,
- kubatura: 47,6 m³,
- wysokość bez adaptacji 2,80 m,
- proporcje wymiarów: 1,00 : 1,33 : 1,62,
- czas pogłosu T_m : 0,25 s,
- częstotliwość graniczna: 145 Hz.

Rys. 5.4 Krzywa Bonello dla studia SIIIRys. 5.4 pokazuje krzywą Bonello, która jest przebiegiem monotonicznie rosnącym dla tercji ≥ 40 Hz. Poniżej nie występują mody własne pomieszczenia.

Rys. 5.5 pokazuje czas pogłosu w pasmach oktaowych przy uwzględnieniu dwóch osób przebywających w studiu. W obliczeniach wykorzystano model obliczeniowy oparty na teorii statystycznej, wykorzystujący wzór Fitzroy'a. Nierównomierność czasu pogłosu mieści się w założonych granicach.



Rys. 5.4 Krzywa Bonello dla studia SIII



Rys. 5.5 Czas pogłosu w studiu SIII

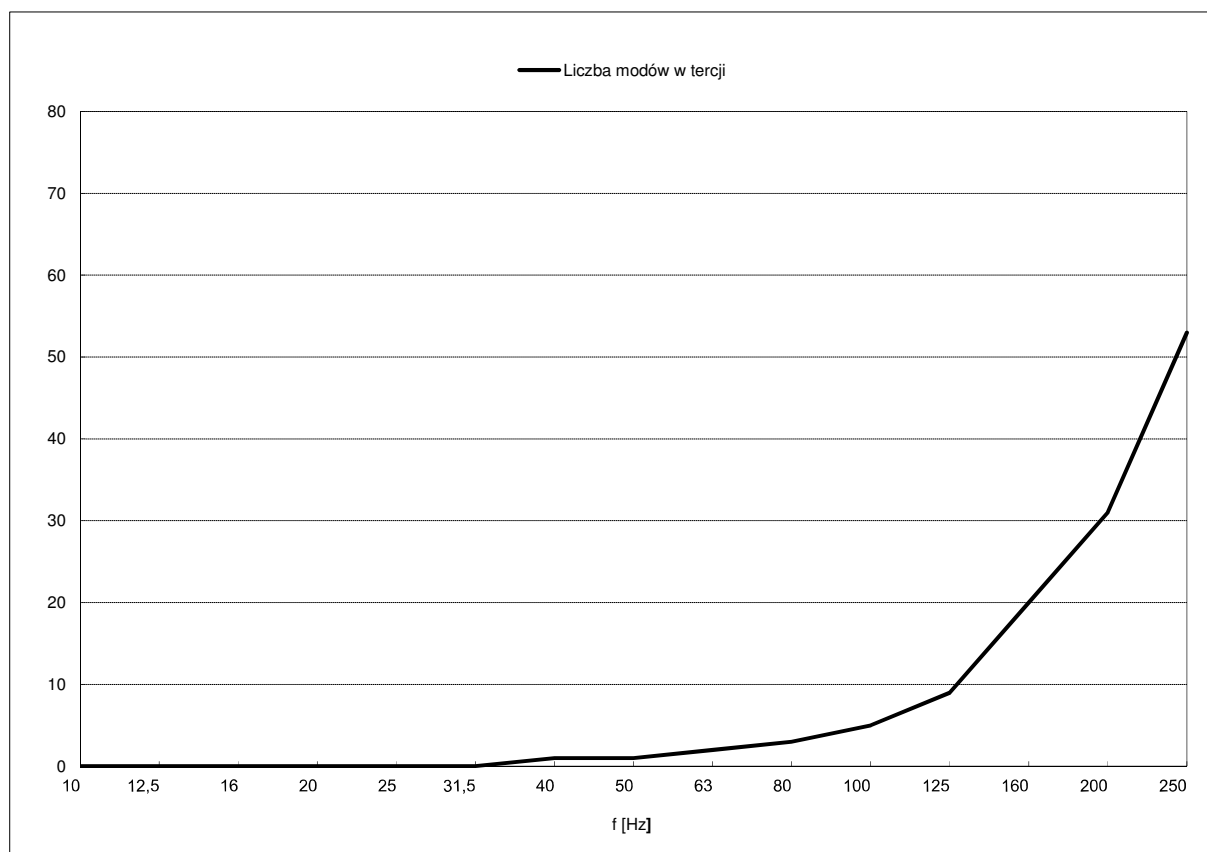
5.2.2. Studio SIII-A

Podstawowe dane pomieszczenia:

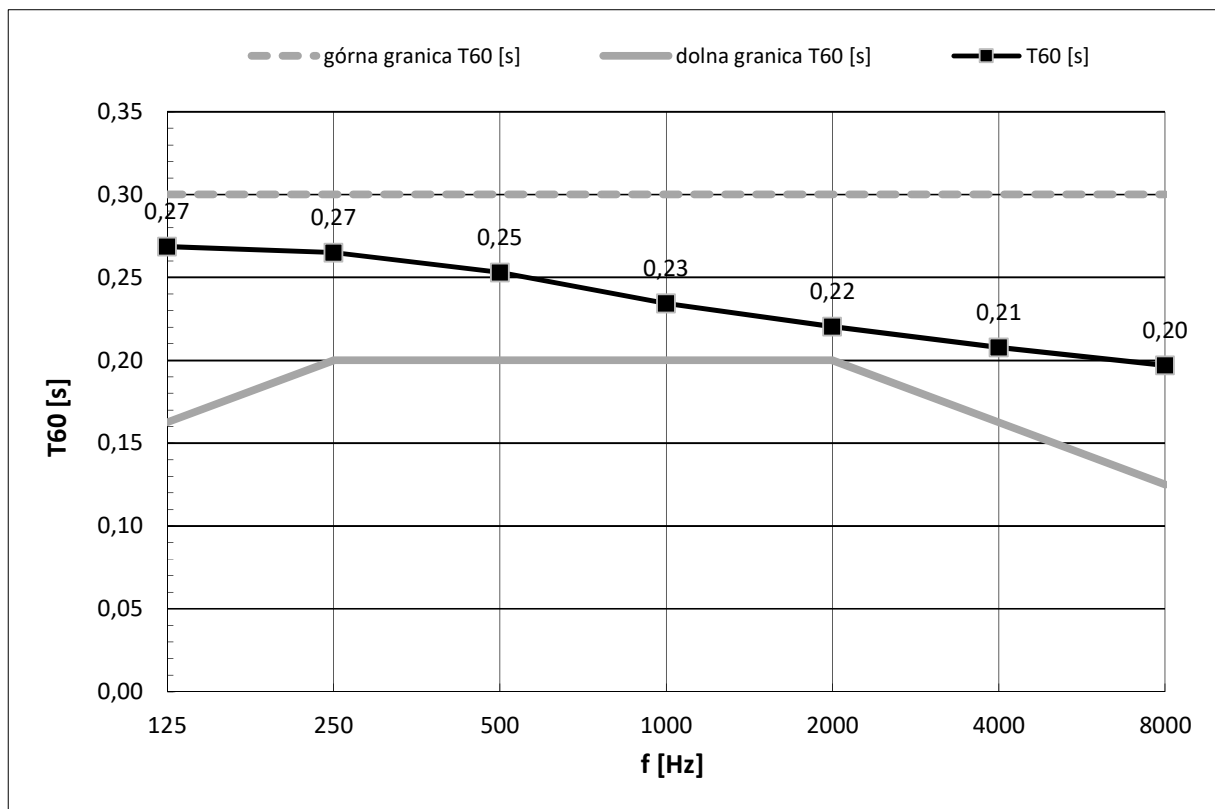
- powierzchnia użytkowa: 21,6 m²,
- kubatura: 38,7 m³,
- wysokość bez adaptacji 2,60 m,
- proporcje wymiarów: 1,00 : 1,29 : 1,70,
- czas pogłosu T_m : 0,25 s,
- częstotliwość graniczna: 161 Hz.

Rys. 5.6 pokazuje krzywą Bonello, która jest przebiegiem monotonicznie rosnącym dla tercji ≥ 40 Hz. Poniżej nie występują mody własne pomieszczenia.

Rys. 5.7 pokazuje czas pogłosu w pasmach oktaowych przy uwzględnieniu dwóch osób przebywających w studiu. W obliczeniach wykorzystano model obliczeniowy oparty na teorii statystycznej, wykorzystujący wzór Fitzroy'a. Nierównomierność czasu pogłosu mieści się w założonych granicach.



Rys. 5.6 Krzywa Bonello dla studia SIII-A



Rys. 5.7 Czas pogłosu w studiu SIII-A

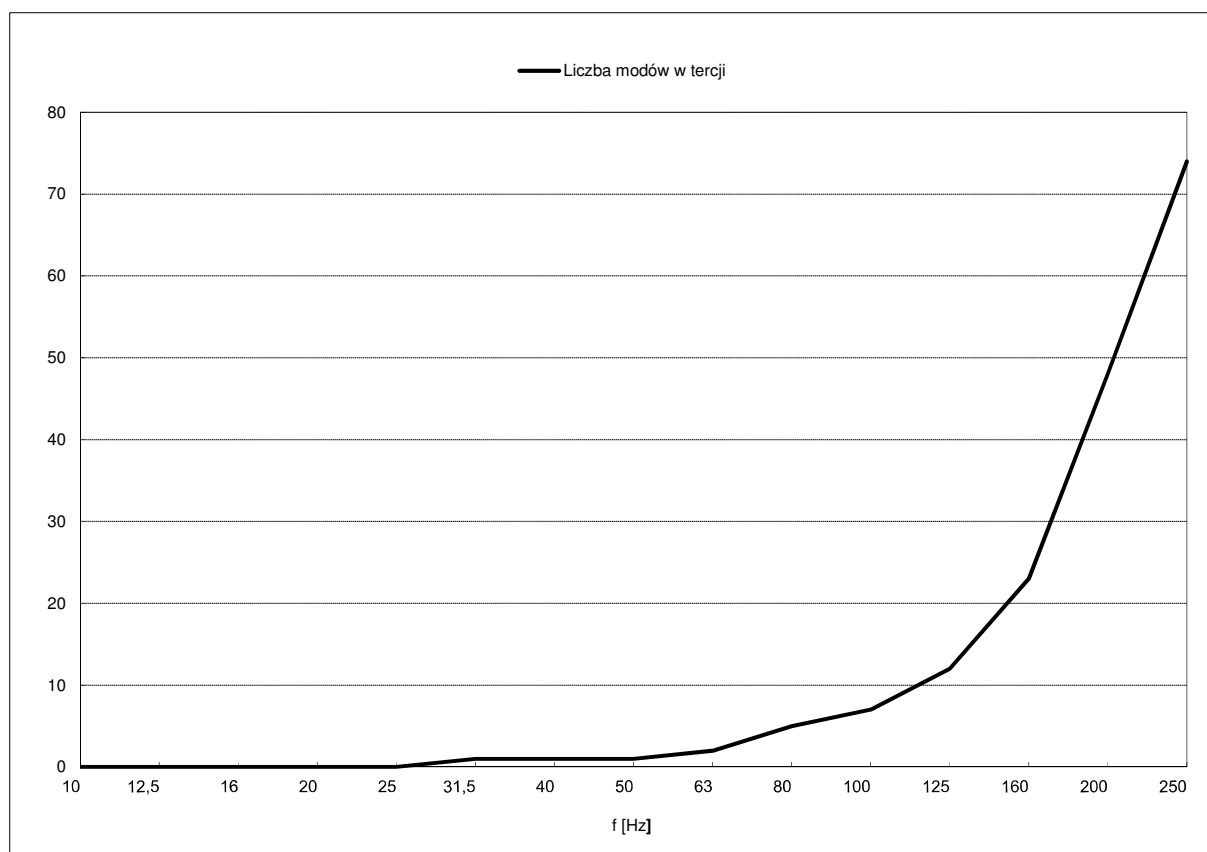
5.2.3. Reżyserka RIII

Podstawowe dane pomieszczenia:

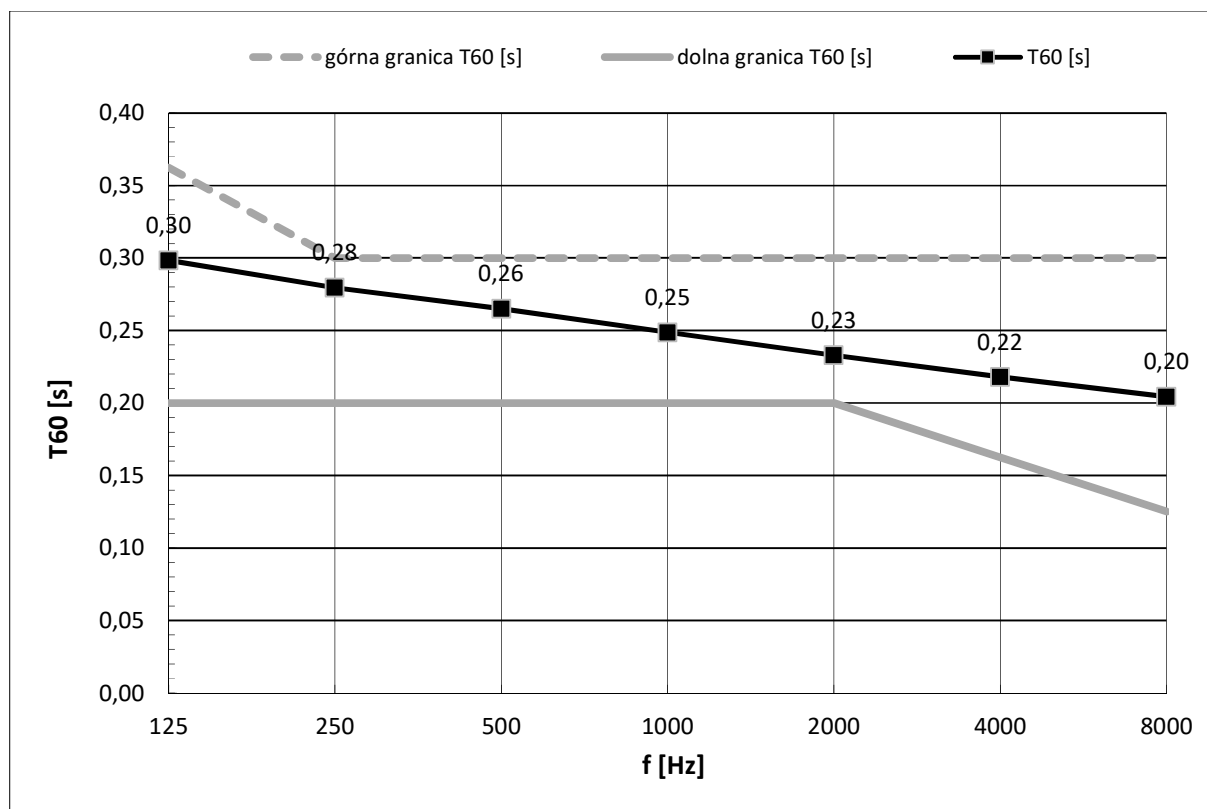
- powierzchnia użytkowa: 20,3 m²,
- kubatura: 54,8 m³,
- wysokość bez adaptacji 2,7 m,
- proporcje wymiarów: 1,00 : 1,52 : 1,84,
- czas pogłosu T_m : 0,25 s,
- częstotliwość graniczna: 135 Hz.

Rys. 5.8 pokazuje krzywą Bonello, która jest przebiegiem monotonicznie rosnącym dla tercji $\geq 31,5$ Hz. Poniżej tej tercji nie występują mody własne pomieszczenia.

Rys. 5.9 pokazuje czas pogłosu w pasmach oktaowych przy uwzględnieniu dwóch osób przebywających w reżyserce. W obliczeniach wykorzystano model obliczeniowy oparty na teorii statystycznej, wykorzystujący wzór Fitzroy'a. Nierównomierność czasu pogłosu mieści się w założonych granicach



Rys. 5.8 Krzywa Bonello dla reżyserki RIII



Rys. 5.9 Czas pogłosu w pomieszczeniu reżyserki RIII

5.3. Rozwiązania materiałowe

Pożądany efekt końcowy został uzyskany poprzez odpowiedni dobór i rozmieszczenie elementów adaptacji akustycznej.

W każdym z pomieszczeń kompleksu studyjnego zastosowano indywidualnie projektowane ustroje akustyczne:

- perforowane ustroje rezonansowe UPRF01–04,
- szerokopasmowe ustroje pochłaniające UW01–03.

Ponadto w pomieszczeniach użyto prefabrykowanych ustrojów rozpraszających UR01.

Ustroje perforowane UPRF01–04 zlokalizowane po obwodzie pomieszczenia powinny być w łatwy sposób demontowane do wysokości ok. 45 cm od podłogi. Wysokość ta jest uzależniona od faktycznej ilości koryt kablowych biegnących na danej ścianie pomieszczeń studyjnych. Umożliwi to użytkownikowi dostęp do instalacji kablowych systemu audio-wideo, która w razie potrzeby może być modyfikowana.

Wszelkie obecne zakończenia instalacji technologicznych nieobjęte niniejszym projektem (takie jak: gniazdko zasilające, przyłącza sygnałowe itp.) oraz szafy techniczne zlokalizowane na ścianach, należy wyprowadzić na płytę czołową projektowanych ustrojów akustycznych. Jeśli dany element znajduje się na pograniczu pomiędzy ustrojami UW i UPRF lub w niedalekiej odległości od UPRF, należy dany element wyprowadzić na ustrój UPRF, ze względu na jego masywniejsze i stabilniejsze wykończenie. Również pozostałe istniejące elementy technologiczne na suficie, takie jak kratki wentylacyjne i oprawy oświetleniowe, należy wyprowadzić na nowo projektowany gipsowo-kartonowy podwieszany sufit, zachowując w miarę możliwości pierwotną lokalizację tych elementów. Proponowane rozmieszczenie elementów nieobjętych niniejszym projektem przedstawiono na rysunkach AW01–AW03.

Ustroje akustyczne powinny być mocowane do ścian przy pomocy profili ściennych przykręcanych wkrętami. Rodzaj zastosowanych wkrętów i kołków powinien być odpowiednio dobrany do podłoża. Podkonstrukcja ta powinna zapewnić stabilność i sztywność montowanych na niej ustrojów akustycznych.

W celu kontroli poziomu wczesnych odbić w pomieszczeniu reżyserki RIII należy zastosować po dwa ustroje przejezdne E01 na stronę. Ich rozmieszczenie przedstawiono na rysunku AW02.

Każde z projektowanych pomieszczeń powinno mieć wykonany sufit podwieszany zbudowany z dwóch płyt gipsowo-kartonowych o grubości 15 mm każda, układanych naprzemiennie. Rozstaw profili w konstrukcji nośnej nie powinien być większy niż 30 cm. Zaleca się powstałą pustkę powietrzną wypełnić wełną mineralną o grubości min. 50 mm. Wysokość podwieszanych sufitów gipsowo-kartonowych przedstawiono w Tab. 5.1.

Tab. 5.1 Zestawienie wysokości pomieszczeń

Pomieszczenie	Wysokość sufitu GK nad poziomem podłogi [m]
Studio nagraniowe SIII	2,80
Studio nagraniowe SIII-A	2,60
Reżyserka RIII	2,70

Zestawienie powierzchni zajmowanych przez zastosowane w projekcie materiały i ustroje akustyczne zestawiono w Tab. 5.2 – Tab. 5.4.

Tab. 5.2 Zestawienie powierzchni materiałów i ustrojów akustycznych zastosowanych w studiu SIII

Materiały i ustroje akustyczne	Powierzchnia [m ²]
Wykładzina	17,00
UPRF01	6,32
UPRF02	5,47
UPRF03	4,01
UPRF04	4,72
UW01	2,16
UW02–03	12,65
UR01	6,24

Tab. 5.3 Zestawienie powierzchni materiałów i ustrojów akustycznych zastosowanych w studiu SIII-A.

Materiały i ustroje akustyczne	Powierzchnia [m ²]
Wykładzina	14,90
UPRF01	5,35
UPRF02	5,59
UPRF03	5,29
UPRF04	2,83
UW01	2,88
UW02–03	8,00
UR01	3,27

Tab. 5.4 Zestawienie powierzchni materiałów i ustrojów akustycznych zastosowanych w reżyserce RIII.

Materiały i ustroje akustyczne	Powierzchnia [m ²]
Wykładzina	20,33
UPRF01	7,14
UPRF02	5,69
UPRF03	4,28
UPRF04	4,40
UW01	4,32
UW02–03	11,35
UR01	5,50

5.4. Specyfikacje ustrojów

W tabelach Tab. 5.5 –Tab. 5.13 przedstawiono specyfikację ustrojów akustycznych.

Tab. 5.5 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW01

Konstrukcja	Płyty z wełny mineralnej pokryte powłoką zabezpieczającą przed pyleniem. Grubość wełny mineralnej: 40 mm. Gęstość wełny mineralnej > 90 kg/m³. Płyty montowane bezpośrednio do sufitu. Rodzaj kleju wg. zaleceń producenta.						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,25	0,80	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00

Tab. 5.6 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UW02–03

Konstrukcja	Płyty z wełny mineralnej pokryte materiałem zabezpieczającą przed pyleniem. Gramatura materiału zabezpieczającego przed pyleniem $\leq 200\text{g/m}^2$. Grubość wełny mineralnej: 100 mm. Gęstość wełny mineralnej 70 - 90 kg/m³.						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α ($\pm 10\%$)	0,50	0,70	0,99	0,95	0,90	0,90	0,90

Tab. 5.7 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UR01

Przykładowy materiał	Drewnopochodna płyta impregnowana przeciwogniowo						
Konstrukcja	Ustrój rozpraszający typu QRD Grubość płyty: 35 mm						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,01	0,05	0,10	0,10	0,10	0,25	0,30
Wymagane wartości współczynników rozpraszania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
s (±10%)	0,01	0,01	0,02	0,03	0,25	0,58	0,69

Tab. 5.8 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF01

Przykładowy materiał	Płyta licowa wykonana z płyty drewnopochodnej impregnowanej przeciwogniowo						
Konstrukcja	Płyta licowa perforowana, stopień perforacji ok. 0,4% Grubość płyty: 12 mm. Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem o gramaturze ≤ 200 g/m². Wełna mineralna o grubości 100 mm. Ściana.						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,71	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Tab. 5.9 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF02

Przykładowy materiał	Płyta licowa wykonana z płyty drewnopochodnej impregnowanej przeciwogniowo						
Konstrukcja	Płyta licowa perforowana, stopień perforacji określony na etapie strojenia akustycznego. Grubość płyty: 12 mm. Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem o gramaturze ≤ 200 g/m². Wełna mineralna o grubości 100 mm. Ściana.						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,71	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Tab. 5.10 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF03

Przykładowy materiał	Płyta licowa wykonana z płyty drewnopochodnej impregnowanej przeciwogniowo						
Konstrukcja	Płyta licowa perforowana, stopień perforacji ok. 7,7% Grubość płyty: 12 mm. Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem o gramaturze ≤ 200 g/m². Wełna mineralna o grubości 100 mm. Ściana.						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,57	0,76	0,90	0,69	0,26	0,17	0,17

Tab. 5.11 Specyfikacja wymagań dla ustroju akustycznego UPRF04

Przykładowy materiał	Płyta licowa wykonana z płyty drewnopochodnej impregnowanej przeciwogniowo						
Konstrukcja	Płyta licowa perforowana, stopień perforacji określony na etapie strojenia akustycznego. Grubość płyty: 12 mm. Lekka tkanina zabezpieczająca przed pyleniem o gramaturze ≤ 200 g/m². Wełna mineralna o grubości 100 mm. Ściana.						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,57	0,76	0,90	0,69	0,26	0,17	0,17

Tab. 5.12 Specyfikacja wymagań dla wykładziny

Przykładowy materiał	Wykładzina antystatyczna						
Struktura	Płytką o runie pętelkowym						
Skład runa	100% Poliamid						
Gramatura	≥ 400 g/m²						
Wysokość runa	2,5 mm ± 20%						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku:							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α (±10%)	0,02	0,03	0,07	0,18	0,41	0,43	0,43
Uwagi	Na życzenie inwestora proponowana wykładzina może zostać zastąpiona inną, nie spełniającą specyfikacji w niniejszej tabeli.						

Tab. 5.13 Specyfikacja wymagań dla ustrojów przejezdnych E01

Konstrukcja:	jedna strona pokryta wełną mineralną tapicerowaną płótnem o gramaturze $\leq 100 \text{ g/m}^2$, druga strona pokryta szerokopasmowym ustrojem rozpraszającym.						
Grubość wełny	$\geq 200 \text{ mm}$						
Gęstość wełny	$80 - 120 \text{ kg/m}^3$						
Wymagane wartości współczynników pochłaniania dźwięku.							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
α ($\pm 10\%$)	0,64	0,75	0,84	0,90	0,93	0,95	0,95
Wymagane wartości współczynników rozpraszania dźwięku							
f [Hz]	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
S ($\pm 10\%$)	0,01	0,04	0,44	0,87	0,97	0,92	-

6. Procedury strojenia akustycznego

W ramach kontroli parametrów akustycznych i strojenia akustyki pomieszczeń, zaleca się przeprowadzenie jednego pośredniego pomiaru kontrolnego oraz jednego pomiaru końcowego projektowanych pomieszczeń.

Pomiar kontrolny należy wykonać przed wykonaniem i zamontowaniem ustrojów UPRF2 oraz UPRF04 w każdym z projektowanych pomieszczeń.

W ramach tej czynności należy zmierzyć czas pogłosu T30 w pasmach 1/3 oktaowych w zakresie częstotliwości 125 – 8 000 Hz. Punkty nadawcze i odbiorcze należy dobrać zgodnie z normą [4].

Pomiary kontrolne należy wykonać w pomieszczeniu, w którym nie znajdują się elementy nie związane z funkcjonowaniem pomieszczeń.

Na podstawie uzyskanych wyników zostanie podjęta decyzja przez głównego projektanta akustyki dotycząca ewentualnych zmian w pozostałej części adaptacji akustycznej.

Po wykonaniu pozostałych elementów adaptacji zgodnie z wprowadzonymi zmianami projektowymi i docelowym wyposażeniu pomieszczenia, należy wykonać pomiary końcowe we wszystkich pomieszczeniach. Pomiary końcowe przeprowadzić analogicznie jak pomiary kontrolne.

7. Podsumowanie

Niniejsze opracowanie stanowi opis dla projektu wykonawczego dotyczącego:

- wytycznych dla ochrony przed hałasem,
- akustyki wnętrz.

dla pomieszczeń radiowych Radia PIK. Wymienione powyżej rozwiązania zostały zaprojektowane zgodnie z uzgodnieniami poczynionymi z przedstawicielami Użytkownika i Inwestora.

Opracowanie jest zgodnie z postawieniami umowy [1].

Opracowanie jest kompletne z uwagi na cel jakiemu służy.