

# DIGITRONIC

Zakład Elektrotechniki Elektroniki i Akustyki

STUDIO PROJEKTOWE

*inż. Janusz Wysocki*

76-200 SŁUPSK ul. Braci Gierymskich 6/17

tel/fax 0...59 8 434 287, 0601 052 932

[www.digitronic.com.pl](http://www.digitronic.com.pl) [digitronic@digitronic.com.pl](mailto:digitronic@digitronic.com.pl)

NIP: 839-040-21-23

DIGITRONIC  
SŁUPSK

## ADAPTACJA AKUSTYCZNA

HALA SPORTOWO-WIDOWISKOWA  
W KARLINIE ul. Kościuszki

DOTYCZY: opracowania i adaptacji akustycznej -  
kształtowania warunków pogłosowych sali (14473m<sup>3</sup>)

Temat:

**AKUSTYKA**

Autor:

inż. Janusz Wysocki - akustyk  
Certyfikat BELLSONIC/2005  
Polskie Towarzystwo Akustyczne

*Janusz Wysocki*  
inż. Janusz Wysocki  
ul. Braci Gierymskich 6/17  
tel. 342-87

DIGITRONIC  
SŁUPSK

Słupsk, styczeń 2009 r.

## WPROWADZENIE

Nowoczesne obiekty sportowe powinny spełniać wiele kryteriów komfortu, w tym również komfortu akustycznego. Sale sportowe są obiektami o dużej kubaturze, w której dźwięk pochodzi nie tylko od uczestników zajęć/zawodów i widzów, ale również z systemów elektroakustycznych (odtwarzanie muzyki i przekazywanie informacji). Interakcja wnętrza sali sportowej z dźwiękiem w niej generowanym jest zauważalna najbardziej podczas użytkowania obiektu. Z biegiem czasu użytkownicy zwracają uwagę na pewne mankamenty akustyczne, których nie przewidziano lub nie można było przewidzieć podczas projektowania. W sali pierwotnie zaprojektowanej jako sala sportowa bez systemu nagłośnieniowego i pełniącej jedną funkcję, nie był zauważalny wpływ hałasu pogłosowego podczas jej użytkowania. Poszerzenie funkcji sali np. o organizowanie okolicznościowych uroczystości czy lokalnych koncertów i wyposażenie w urządzenia elektroakustyczne powoduje dużą zmianę w odbiorze użytkowników. Pomieszczenia o złej akustyce bardzo niekorzystnie wpływają na działanie systemów audio. System elektroakustyczny jest negatywnie odbierany nie ze względu na wadliwość pracy, lecz z powodu zakłóceń wywołanych hałasem pogłosowym. Hałas ten powstaje we wnętrzu sali sportowej, w przestrzeni ograniczonej przegrodami odbijającymi dźwięk. Dźwięk swobodnie rozprzestrzeniający się w sali po odbiciu od ściany wraca do naszego ucha. Odbieranie tego dźwięku jako hałasu jest związane z opóźnieniem, z jakim dociera do nas dźwięk odbity i maskowaniem, jakie tworzy w naszym uchu. Hałasem nazywamy każdy niepożądany dźwięk, który zakłóca komfort naszego pobytu w pomieszczeniu, udział w zawodach, itd. Hałas pogłosowy niekorzystnie wpływa na postrzeganie dźwięków generowanych w sali powodując niezrozumienie wypowiedzi współzawodników, spikera czy sędziego. Niepożądane odbicia dźwięku od ścian zniekształcają i pogarszają jakość odbioru sygnałów akustycznych. Zakłócenie zrozumiałości wypowiedzi jest najczęściej podnoszonym problemem w nieadaptowanych akustycznie salach sportowych. To negatywne zjawisko jest szczególnie uciążliwe w wielofunkcyjnych obiektach, wykorzystywanych do innych celów niż tylko sportowe. Wiele sal sportowych budowanych jest obecnie jako obiekty wielofunkcyjne. W niejednej gminie duża sala sportowa jest jedyną salą, w której można zorganizować większe spotkanie, koncert, czy uroczystość państwową. Włączając akustykę architektoniczną w proces realizacji inwestycji uzyskujemy nie tylko zadowolenie użytkowników, lecz również zapobiegamy szkodliwym wpływom na zdrowie uczestników zajęć w sali.

Hałasem jest każdy rodzaj dźwięku, który w danej przestrzeni i w danej chwili jest niepożądany. Dźwięk taki przyczynia się do zakłócenia naszego pobytu w obiekcie, funkcjonowania i kontaktów międzyludzkich. Hałas powoduje obniżenie naszej sprawności fizycznej i psychicznej. Kontakt z niepożądanym dźwiękiem rozprasza nas, przyczynia się do dyskomfortu kontaktu z innymi osobami, drażni i irytuje. Nadmierny pogłos jest jednym z rodzajów hałasu, jaki działa na człowieka w przestrzeni architektonicznej. Nadmiar

odbitych dźwięków zakłóca dźwięk pierwotny generowany przez źródło. Fale odbite bez strat od ścian i sufitu dodają się do dźwięku bezpośredniego powodując jego zniekształcenie. Przez ucho odbierany jest dźwięk zakłócony, trudny do rozpoznania i interpretacji. Działanie hałasu pogłosowego to głównie zmiana informacji, jaką niesie dźwięk. Nadmierny pogłos powstaje w każdej przestrzeni ograniczonej przegrodami. Wynika on z propagacji dźwięku w powietrzu napotykającego na swojej drodze płaszczyzny ograniczające, jakimi są ściana, sufit, podłoga, meble. Fala padająca na płaszczyznę ulega odbiciu i podąża dalej jako fala odbita do kolejnej ściany, aby ulec kolejnemu odbiciu. Teoretycznie w idealnym pomieszczeniu, gdzie nie występują straty dźwięku w powietrzu i nie ma strat przy odbiciu od ścian, dźwięk może trwać nieskończenie długo. W rzeczywistym pomieszczeniu dźwięk padający na płaszczyznę ściany jest pochłaniany. W sali pogłosowej trwa on kilka lub kilkanaście sekund i może być kilkukrotnie wyraźnie rozpoznawalny. Hałas pogłosowy jest wynikiem docierania do ucha tego samego dźwięku z różnych stron. Dźwięki te są opóźnione w czasie, przez co słyszymy je kilkukrotnie. Przy opóźnieniach czasowych wynoszących 0,5 sekundy lub mniej człowiek ma problem z rozróżnieniem dźwięków, co odbierane jest jako szum zakłócający. Hałas pogłosowy jest uciążliwy z powodu dyskomfortu akustycznego, jaki odczuwamy na skutek problemów z interpretacją dźwięku. Przebywając w miejscu publicznym, gdzie nie możemy wiele zrozumieć, nie czujemy się komfortowo. Nie jesteśmy zadowoleni z przebywania w takiej przestrzeni i pragniemy ją opuścić. Hałas pogłosowy nie jest związany bezpośrednio z utratą słuchu. Jednak osoby z ubytkiem słuchu, odczuwają silniej swoje problemy w pomieszczeniach z nadmiernym pogłosem. Problemy ze zrozumieniem współrozmówcy przyczyniają się do pogorszenia jakości rozmowy. Ciągłe proszenie o powtórzenie jest irytujące dla każdego człowieka.

Charakterystyczną cechą hałasu pogłosowego jest jego logarytmiczny wzrost. Podczas zwiększania głośności źródła spadek jakości odbioru dźwięku rośnie w sposób znaczący. Silniejsze źródło w warunkach pogłosowych generuje większe zakłócenie. Hałas pogłosowy, jako jeden z elementów składowych pogorszenia warunków akustycznych, wymieniony został w *Dokumentie interpretacyjnym do Dyrektywy 89/106/EEC dotyczącej wyrobów budowlanych, Wymagania podstawowe nr 5 "Ochrona przed hałasem"*. Przytoczenie go jako składowej zanieczyszczenia hałasem środowiska życia człowieka świadczy o jego dużym znaczeniu dla komfortu akustycznego w architekturze. Wymagania dotyczące eliminacji hałasu pogłosowego są również zawarte w wytycznych do realizacji sal sportowych opracowanych przez były UKFiS. Wytyczne te nie definiują szczegółowo, czym jest hałas pogłosowy. Eliminacja hałasu pogłosowego została określona poprzez podanie parametru technicznego, jakim jest czas pogłosu. Wartość czasu pogłosu w sali sportowej według tych wytycznych powinna wynosić maksymalnie 2,7 s. Wytyczne zgodnie z tendencjami ogólnoeuropejskimi wskazują tylko wartość minimalną. Sale sportowe projektowane i realizowane według wskazań UKFiS pozbawione są hałasu pogłosowego. (Za Jackiem Danieleckim „Akustyka w architekturze”)

**Czas pogłosu** jest technicznym parametrem mierzonym w pomieszczeniu, który pozwala na ocenę warunków pogłosowych w pasmach częstotliwości. Wielkość czasu pogłosu wyrażona w sekundach określa siłę mianem hałasu pogłosowego. Im dłuższy czas

pogłosu, tym większy negatywny wpływ hałasu pogłosowego na jakość przekazu słownego w pomieszczeniu. Można powiedzieć, że czas pogłosu określa czas, w jakim dźwięk trwa w pomieszczeniu. O czasie pogłosu decyduje kubatura pomieszczenia i własności dźwiękochłonne materiałów, z jakich wykonano powierzchnie ograniczające w salach sportowych (ściany, sufity, podłogi, wyposażenie itp.)

Czas pogłosu szacuje się w kolejnych pasmach częstotliwości ze względu na zróżnicowanie częstotliwościowe własności dźwiękochłonnych materiałów, z jakich wykonany jest obiekt. Czynnikiem najbardziej wpływającym na ten parametr jest kubatura i rodzaj materiału. Im mniejsza kubatura, tym większe możliwości uzyskania krótkiego czasu pogłosu. Sale o dużych powierzchniach silnie pochłaniających dźwięk również cechuje krótki czas pogłosu.

Dobranie odpowiedniego czasu pogłosu jest związane ze sposobem generacji dźwięku. Pomieszczenia z systemem elektroakustycznym powinny mieć krótki czas pogłosu. Wnętrza, gdzie nie ma systemów nagłośnienia, mogą mieć większy pogłos. W przypadku złego doboru własności pogłosowych, ilości i rodzaju adaptacji akustycznej można doprowadzić do nie zrównoważenia charakterystyki pogłosowej w kolejnych pasmach częstotliwości. Objawia się to niepożądanymi i uciążliwymi efektami zakłócającymi, które występują głównie w zakresie niskich częstotliwości. Analiza czasu pogłosu w pasmach częstotliwości jest istotna dla doboru warunków pogłosowych przy bardzo wąsko określonych wymaganiach. W salach sportowych, gdzie system audio wykorzystywany jest do przekazywania komend głosowych, odpowiednie warunki pogłosowe należy zagwarantować dla zakresu komunikacyjnego. Czas pogłosu w takim pomieszczeniu powinien być równy dla częstotliwości od 250 do 2 000 Hz. Nie zrównoważenie wartości czasu pogłosu jest mało zauważalne przez osoby z dobrym słuchem. Ludzie z niedosłuchem w zakresie powyżej 500 Hz odczuwają bardzo duży dyskomfort w pomieszczeniach z nadmiernym pogłosem w zakresie niskich częstotliwości. Osoby takie w salach, gdzie różnice czasu pogłosu są duże (powyżej 0,4 s), tracą możliwości funkcjonowania z powodu silnego zakłócenia pracy aparatu słuchowego.

### **Problemy tworzone przez hałas pogłosowy**

Hałas pogłosowy wpływa głównie na jakość informacji przenoszonych przez dźwięk. Nadmierny pogłos przyczynia się do:

- zniekształcenia informacji
- pozornego wzrostu poziomu dźwięku

Wzrost poziomu dźwięku dotyczy szumu ogólnego, jaki tworzy nadmierny pogłos. W efekcie mała różnica w poziomie dźwięku niosącego informację (np. komunikat sędziowski) w stosunku do poziomu szumu ogólnego przyczynia się do maskowania

informacji głównej. Powoduje to zakłócenie np. systemów audio służących do przekazywania komunikatów ewakuacyjnych przeciwpożarowego alarmu słownego.

### Typowe problemy akustyczne w salach sportowych, w których występuje hałas pogłosowy:

- trudności ze zrozumieniem słów wypowiedzianych przez komentatora
- brak określenia kierunkowości dźwięku
- konieczność głośnego mówienia, zmęczenie strun głosowych np. sędziów
- nie słyszenie komend trenera z ławki
- niska jakość muzyki odtwarzanej z urządzeń audio
- nie rozpoznawanie komend ze słownego alarmu przeciwpożarowego

### Klasy warunków pogłosowych

Uzyskanie odpowiednich warunków pogłosowych otrzymuje się poprzez wprowadzenie do pomieszczenia materiału dźwiękochłonnego. Adaptacja akustyczna w odpowiedniej ilości powoduje korektę czasu pogłosu do parametru opisującego warunki pogłosowe wybrane przez użytkownika. Czas pogłosu przedstawiany w pasmach częstotliwości można określić poprzez wprowadzenie pojęcia klasy warunków pogłosowych.

### Tabele wartości czasu pogłosu w pasmach częstotliwości dla klas warunków pogłosowych

#### Sala sportowa

Klasa	Pasma częstotliwości [Hz]					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
RT_A	2,0	1,8	1,6	1,6	1,6	1,8
RT_B	2,2	2,0	1,8	1,8	1,8	2,0
RT_C	2,4	2,2	2,0	2,0	2,0	2,2
RT_D	2,8	2,6	2,4	2,4	2,4	2,6
RT_E	3,2	3,0	2,7	2,7	2,7	3,0
RT_F	3,4	3,2	3,0	3,0	3,0	3,2

#### Sala sportowa wielofunkcyjna

Klasa	Pasma częstotliwości [Hz]					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
RT_A	1,8	1,6	1,4	1,4	1,4	1,6
RT_B	2,0	1,8	1,6	1,6	1,6	1,8
RT_C	2,2	2,0	1,8	1,8	1,8	2,0
RT_D	2,4	2,2	2,0	2,0	2,0	2,2
RT_E	2,6	2,4	2,2	2,2	2,2	2,4
RT_F	2,8	2,6	2,4	2,4	2,4	2,6

## OPIS TECHNICZNY

### HALA SPORTOWO-WIDOWISKOWA

#### Przeznaczenie i program użytkowy obiektu budowlanego.

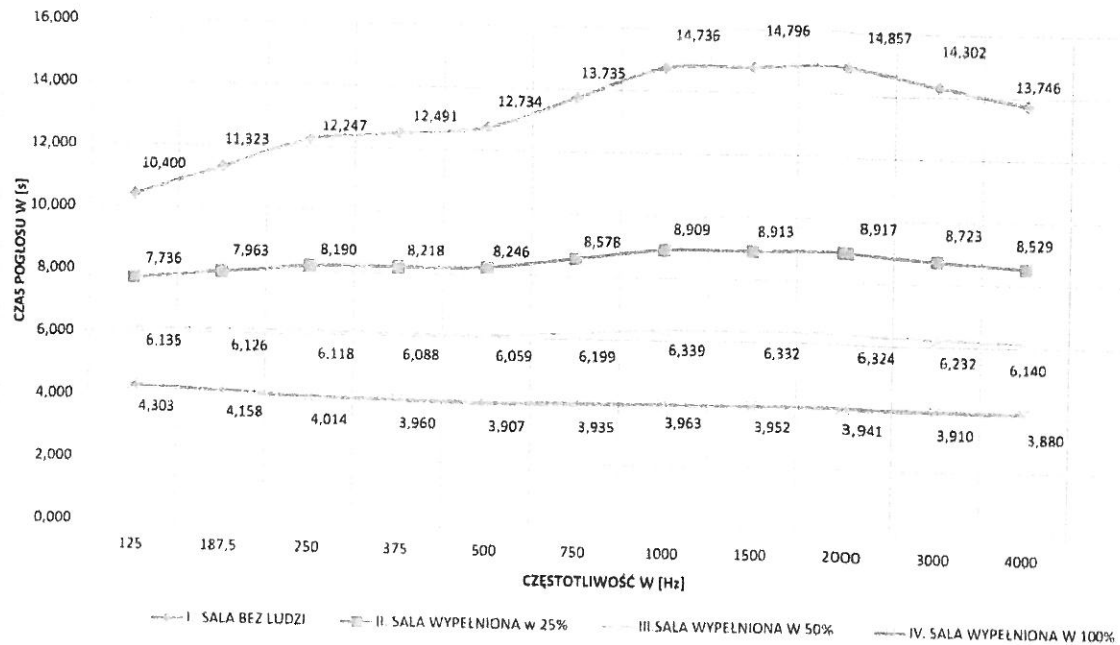
Projektowany obiekt jest budynkiem mieszczącym wielofunkcyjną halę sportową z miejscami dla widzów oraz zaplecze – z salą ćwiczeń, do squasha, częścią administracyjną, rekreacyjną, socjalną oraz magazynową.

Pod względem funkcjonalno-programowym na obiekt składają się trzy zasadnicze elementy:

- część dla publiczności: hall wejściowy z zespołem szatniowym i kawiarnią oraz widownia dla 554 osób;
- część przeznaczona dla użytkowników: zespoły szatniowo – natryskowe, sanitariaty, pokoje sędziów i trenerów, sala ćwiczeń, squasha, część administracyjna i magazynowa;
- hala wielofunkcyjna

**Stan BEZ ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ:** wykazuje bardzo długie czasy pogłosu szczególnie dla częstotliwości 1000 - 2000 Hz (14,74 – 3,96s/14,85 - 3,94s), gdzie występuje niepożądany rezonans akustyczny pomieszczenia (100 Hz). W zakresie poniżej 1000 Hz czas pogłosu zmniejsza się do wartości 10,4s/4,3s (dla 125 Hz), powyżej 2000 Hz zmniejsza się do wartości 13,75s/3,88s (dla 4000 Hz). Zauważa się znaczny wpływ obecności osób w sali na warunki akustyczne – charakterystyczne niestabilne parametry (różne kształty charakterystyk częstotliwościowych czasu pogłosu). Warunki akustyczne bardzo niekorzystne – brak komfortu odbioru sygnałów mowy, niski współczynnik zrozumiałości mowy RASTI. Charakterystyczne zjawisko uwypuklenia dźwięków o częstotliwości 1 - 2 kHz (rezonans). Powstawanie zjawiska hałasu pogłosowego. Wzmacnianie dźwięków typu uderzeniowego (odbicia piłek, stąpanie , skoki itp.). Sala pod względem oceny warunków akustycznych znajduje się poza klasyfikacją wg klas warunków pogłosowych. Uwzględniając możliwość powstawania hałasu na poziomie 100 dB (zajęcia szkolne, rozgrywki sportowe, hałas widowni itp.) konieczne jest zastosowanie adaptacji akustycznej redukującej niekorzystne zjawiska akustyczne – skrócenie czasu pogłosu z ukształtowaniem charakterystyki w paśmie częstotliwości akustycznych.

### CZAS POGŁOSU BEZ ADAPTACJI (stan pierwotny)

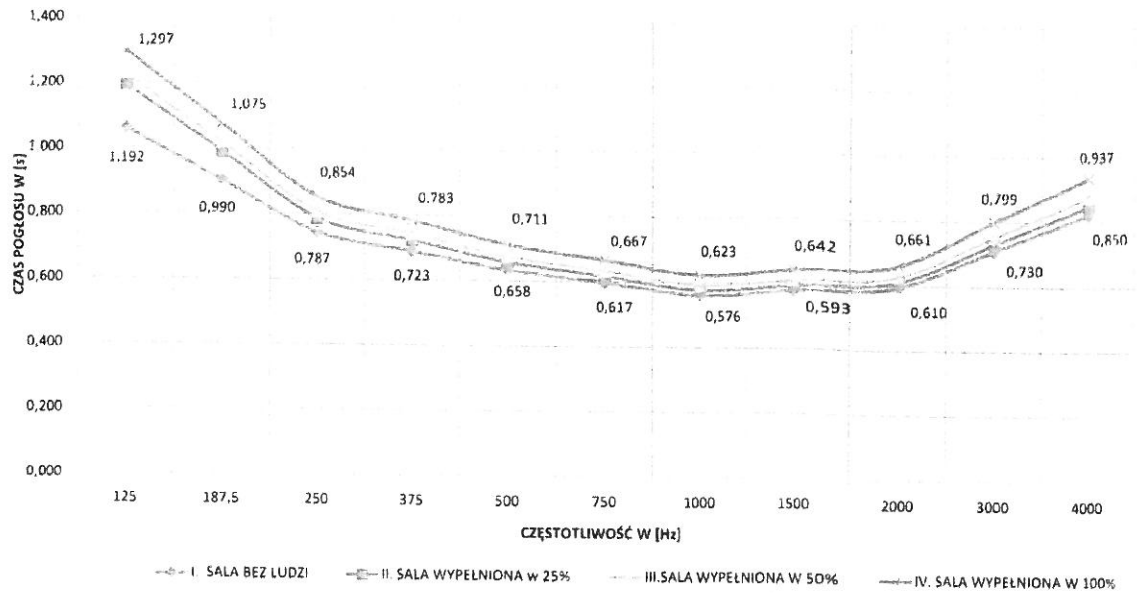


**- ADAPTACJA SUFITU 100% powierzchni: SYSTEM ECOPHON SUPER G montaż cwk>200mm, Klasa A:**

**- ADAPTACJA ŚCIAN SZCZYTOWYCH (dwie przeciwległe ściany szczytowe): SYSTEM ECOPHON SUPER G PLUS cwk>50mm montaż bezpośredni, Klasa A:**

uzyskano dodatkowe skrócenie czasu pogłosu i poprawę współczynnika zrozumiałości mowy – w całym paśmie akustycznym (zwłaszcza na krańcach pasma). Ponadto uzyskano dodatkowe wypłaszczenie charakterystyki w okolicach częstotliwości 250 Hz eliminując rezonans akustyczny. Uzyskano stabilność parametrów akustycznych niezależną od obecności publiczności na widowni (niezmienny kształt charakterystyk). Czas pogłosu nie przekracza 1,30 s. Rozkład czasu pogłosu w widmie częstotliwości odpowiada najwyższej klasie warunków pogłosowych **RT\_A** dla sal wielofunkcyjnych. Rozwiązanie to zapewnia wysoki komfort pracy w takich warunkach. Szczególnie kwalifikuje się do stosowania nagłośnienia elektroakustycznego.

CZAS POGŁOSU Z ADAPTACJĄ AKUSTYCZNĄ  
 SUFITU 100% ECOPHON SUPER G CWK>=200MM  
 ŚCIANY SZCZYTOWE 91,5% ECOPHON SUPER G PLUS CWK<=50 (2)

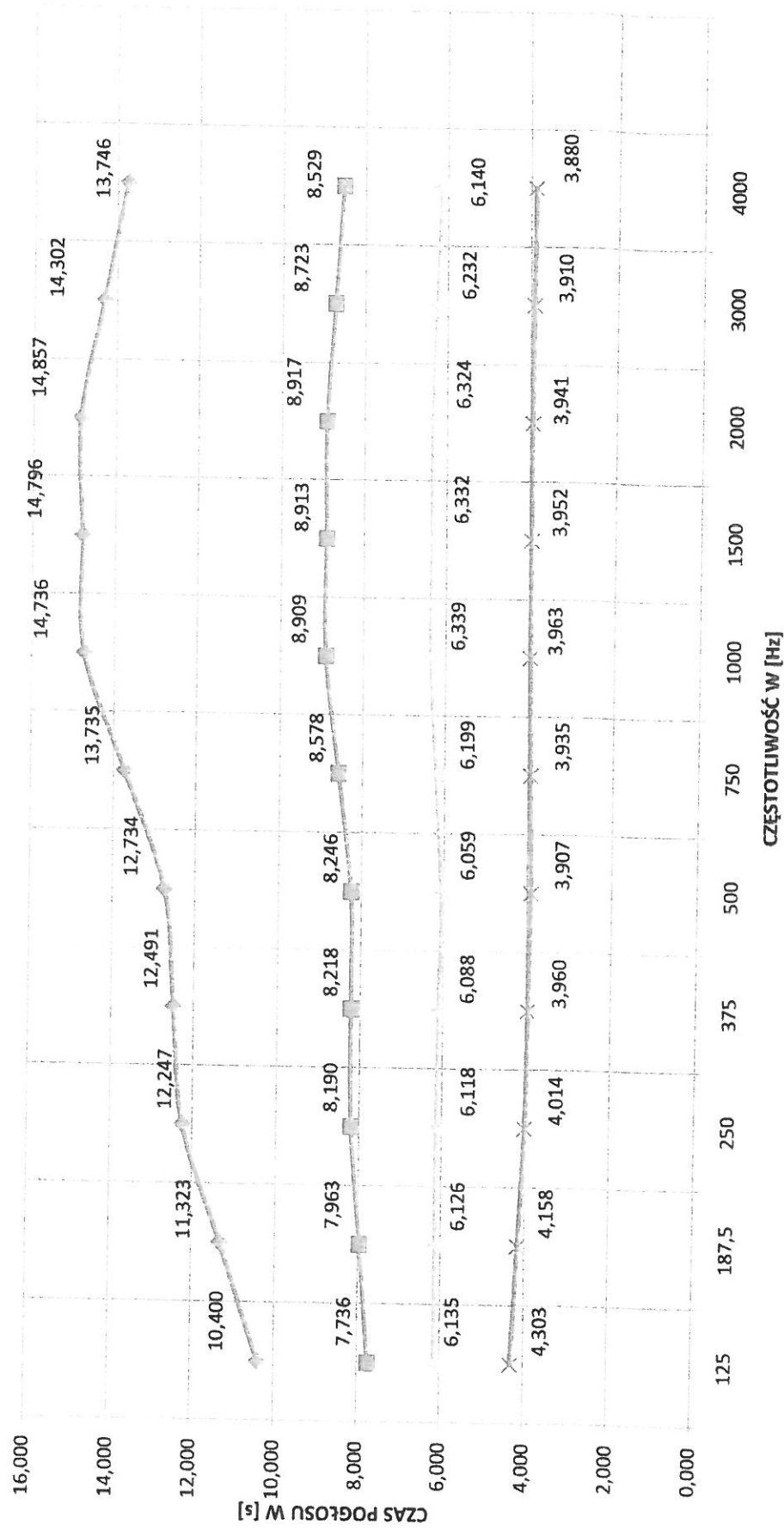






HALA SPORTOWA KARLINO

### CZAS POGŁOSU BEZ ADAPTACJI (stan pierwotny)

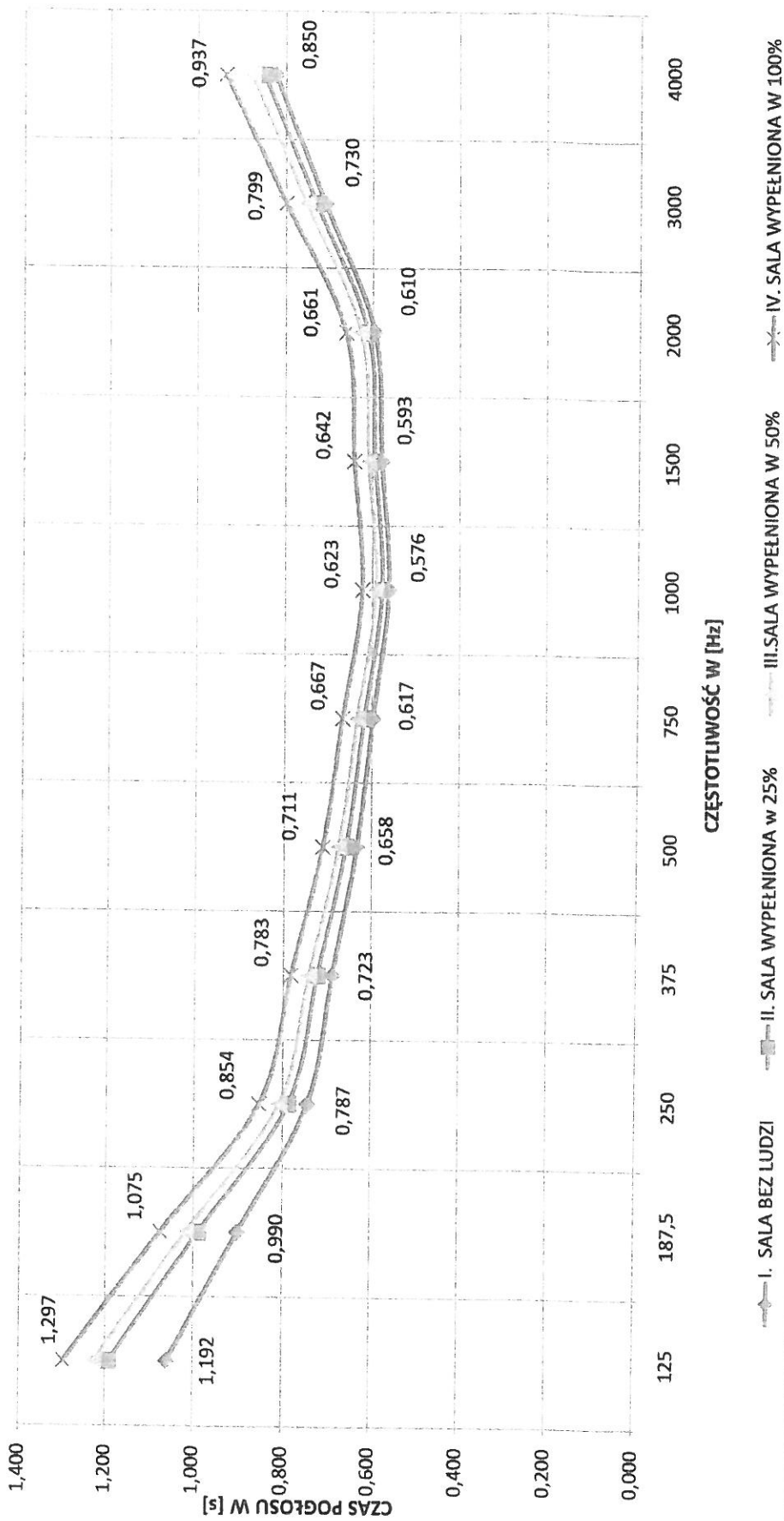


— I. SALA BEZ LUDZI    — II. SALA WYPEŁNIONA W 25%    — III. SALA WYPEŁNIONA W 50%    — IV. SALA WYPEŁNIONA W 100%



HALA SPORTOWA KARLINO

**CZAS POGŁOSU Z ADAPTACJĄ AKUSTYCZNĄ  
SUFITU 100% ECOPHON SUPER G  $c_{wk} >= 200\text{mm}$   
ŚCIANY SZCZYTOWE 91,5% ECOPHON SUPER G PLUS  $c_{wk} <= 50$  (2)**



## **INNE POMIESZCZENIA:**

W celu zapewnienia komfortu akustycznego w innych pomieszczeniach związanych z halą sportowo-widowiskową, należy wykonać adaptację akustyczną sufitów w systemie ECOPHON i FOBRI-LOK, co spowoduje skrócenie czasu pogłosu do wartości znacznie poniżej 2 s, wyeliminuje hałaśliwość pomieszczeń. Jest to również istotne z tego względu, że przewiduje się docelowo zastosowanie systemów nagłośnienia elektroakustycznego, dla których podstawą doboru urządzeń są parametry akustyczne pomieszczeń.