



**PROJEKT BUDOWLANO-WYKONAWCZY PRZEBUDOWY,
NADBUDOWY I ROZBUDOWY MIEJSKIEGO DOMU KULTURY W
MŁAWIE**

Branża: Akustyka
tom opracowania X (studio nagrań)

INWESTOR: Urząd Miasta Mława
ul. Stary Rynek 19 06-500 Mława

ADRES INWESTYCJI: ul. Stary Rynek 13 06-500 Mława

AUTORZY OPRACOWANIA:

projektant: mgr inż. Jakub Tyrlik
sprawdzający: mgr inż. Marcin Kornak

Spis treści

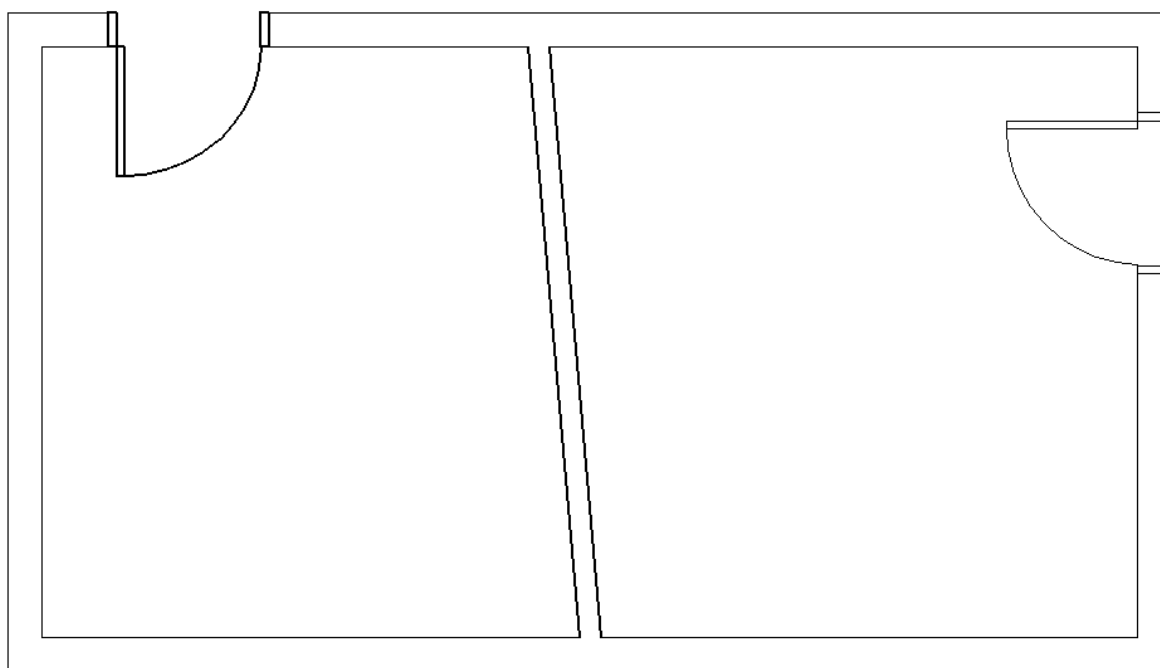
| | | |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Informacje dotyczące adaptowanej sali..... | 3 |
| 2 | Adaptacja akustyczna pomieszczenia do nagrań..... | 4 |
| 2.1 | Założenia projektowe..... | 4 |
| 2.2 | Analiza w zakresie niskich częstotliwości..... | 4 |
| 2.2.1 | Rezonanse akustyczne..... | 4 |
| 2.2.2 | Kryteria Bonello..... | 5 |
| 2.3 | Analiza w zakresie średnich częstotliwości..... | 5 |
| 2.3.1 | Regulacja parametrów akustycznych studia nagrań..... | 5 |
| 2.3.2 | Obliczanie czasu pogłosu – teoria statystyczna..... | 6 |
| 2.4 | Analiza w zakresie wysokich częstotliwości..... | 7 |
| 3 | Adaptacja akustyczna reżyserni dźwięku..... | 8 |
| 3.1 | Założenia projektowe..... | 8 |
| 3.2 | Analiza w zakresie niskich częstotliwości..... | 9 |
| 3.2.1 | Rezonanse akustyczne..... | 9 |
| 3.2.2 | Kryteria Bonello..... | 10 |
| 3.2.3 | Referencyjny punkt odsłuchu..... | 10 |
| 3.3 | Analiza w zakresie średnich częstotliwości..... | 11 |
| 3.4 | Analiza w zakresie wysokich częstotliwości..... | 11 |
| 4 | Opis zastosowanych rozwiązań akustycznych..... | 12 |
| 4.1 | Wykończenie podłogi w studio nagrań..... | 12 |
| 4.2 | Podwieszany sufit..... | 12 |
| 4.3 | Ustroje pochłaniające na ścianach..... | 13 |
| 4.4 | Ustroje rozpraszające – dyfuzory Schroedera..... | 13 |
| 4.5 | Ustroje pochłaniająco-rozpraszające – półwalce..... | 14 |
| 4.6 | Przesuwane dyfuzory Schroedera w reżyserni dźwięku..... | 14 |
| 4.7 | Ruchome ustroje pochłaniająco-odbijające..... | 14 |
| 4.8 | Pułapki basowe w reżyserni dźwięku..... | 15 |
| 4.9 | Pływająca podłoga..... | 16 |
| 4.10 | Przegrody z płyt gipsowo-kartonowych..... | 16 |
| 4.10.1 | Przegroda pomiędzy studiem a reżysernią..... | 16 |
| 4.10.2 | Przegrody zewnętrzne..... | 16 |
| 5 | Wnioski..... | 17 |
| | Literatura..... | 18 |
| Załącznik 1 | Projekt adaptacji akustycznej pomieszczenia..... | 19 |
| Załącznik 2 | Obliczanie czasu pogłosu w pomieszczeniach – zastosowanie metody statystycznej..... | 25 |
| Załącznik 3 | Rozkład ciśnienia dla pierwszych rezonansów osiowych w reżyserni dźwięku – lokalizacja punktu odsłuchowego..... | 27 |
| Załącznik 4 | Pierwsze odbicia dźwięku w adaptowanym pomieszczeniu..... | 29 |

1 Informacje dotyczące adaptowanej sali

Pomieszczenie, w którym projektowany jest kompleks zawierający studio nagrań oraz reżysernię dźwięku znajduje się na drugim piętrze budynku Miejskiego Domu Kultury w Mławie. Powierzchnia pomieszczenia wynosi 25 m². W pomieszczeniu należy zaprojektować przegrodę z oknem zapewniającym kontakt wzrokowy między reżyserem i artystami.

Pomieszczeniem o większym priorytecie, tzn. w którym warunki akustyczne muszą być jak najkorzystniejsze, jest reżysernia dźwięku. Z tego względu kształt pomieszczeń i podział dostępnej przestrzeni dobrano tak, by uzyskać optymalne rozmiary, rozkład rezonansów, itp. w reżyserni dźwięku.

Analiza literatury [4] pokazuje, że korzystniejsze warunki odsłuchowe można uzyskać w przypadku, gdy w pomieszczeniu nie wszystkie pary przegród tworzą powierzchnie równoległe. Przesunięcie jednego z boków o 5° (przesunięcie ma miejsce tylko w płaszczyźnie poziomej – ściana pozostaje prostopadła do stropów; wszystkie efekty tego zabiegu uwidocznione mogą być na rzutach pomieszczenia) spowoduje zmniejszenie się amplitudy fal stojących w pomieszczeniu i wpłynie korzystnie na rozkład rezonansów własnych w skali częstotliwości. Z tego względu zdecydowano się na zaprojektowanie ściany pomiędzy studiem nagrań a reżysernią dźwięku pod odpowiednim kątem. Poglądowy szkic podziału pomieszczeń pokazano na **rysunku 1.1**.



Rysunek 1.1 Koncepcja podziału przestrzeni – adaptacja akustyczna na potrzeby studia nagrań i reżyserni dźwięku (linie grubsze – elementy wprowadzone podczas tworzenie projektu adaptacji akustycznej)

2 Adaptacja akustyczna pomieszczenia do nagrań

2.1 Założenia projektowe

W pomieszczeniu należy wykonać pływającą podłogę o odpowiedniej izolacyjności. Ma ona zapewnić izolacyjność od dźwięków uderzeniowych powstających przy nagraniach (ustawione na podłodze wzmacniacze gitarowe, perkusja, itp.). Należy także zaprojektować przegrody o odpowiedniej izolacyjności:

- zewnętrzne (chroniące przed dźwiękami z zewnątrz pomieszczenia);
- wewnętrzną – ograniczającą transmisję dźwięku między reżysernią i pomieszczeniem do nagrań.

Częstotliwościowa charakterystyka czasu pogłosu powinna być zbliżona do liniowej w całym zakresie częstotliwości; dopuszczalne są odchyłki nie większe niż 20 %. W pomieszczeniu powinno się uzyskać zróżnicowane warunki akustyczne w zależności od miejsca ustawienia muzyka, aby pomieszczenie mogło być wykorzystywane do nagrań muzyki różnego typu i ewentualnie form słownych. W tym celu należy zastosować ruchome ustroje akustyczne (np. przesuwane). Zakłada się, że nominalny czas pogłosu w pomieszczeniu powinien wynosić około 0,2 do 0,4 s.

2.2 Analiza w zakresie niskich częstotliwości

2.2.1 Rezonanse akustyczne

Adaptowane pomieszczenie to w przybliżeniu prostopadłościan o wymiarach (L x W x H) 3,67 x 3,19 x 2,80 m. Przybliżenie takie należy stosować (i jest dopuszczalne) ze względu na założenia teorii falowej pozwalającej na analizę rezonansów akustycznych pomieszczenia. Pierwsze 30 rezonansów zgromadzono i przedstawiono w tabeli 2.1.

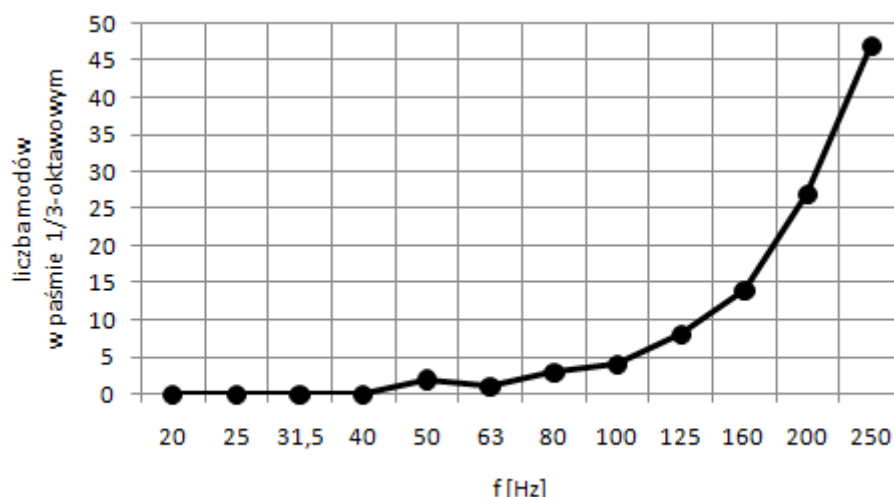
Tabela 2.1 30 pierwszych rezonansów akustycznych studia nagrań

| numer | f [Hz] | oznaczenie modu | typ modu | numer | f [Hz] | oznaczenie modu | typ modu |
|-------|--------|-----------------|----------|-------|--------|-----------------|----------|
| 1 | 1 0 0 | 46,9 | osiowy | 16 | 1 0 2 | 131,6 | styczny |
| 2 | 0 1 0 | 54,0 | osiowy | 17 | 1 2 1 | 132,8 | skośny |
| 3 | 0 0 1 | 61,5 | osiowy | 18 | 0 1 2 | 134,3 | styczny |
| 4 | 1 1 0 | 71,5 | styczny | 19 | 3 0 0 | 140,8 | osiowy |
| 5 | 1 0 1 | 77,4 | styczny | 20 | 1 1 2 | 142,3 | skośny |
| 6 | 0 1 1 | 81,8 | styczny | 21 | 2 2 0 | 143,0 | styczny |
| 7 | 2 0 0 | 93,8 | osiowy | 22 | 3 1 0 | 150,8 | styczny |
| 8 | 1 1 1 | 94,3 | skośny | 23 | 3 0 1 | 153,6 | styczny |
| 9 | 0 2 0 | 108,0 | osiowy | 24 | 2 0 2 | 154,7 | styczny |
| 10 | 2 1 0 | 108,3 | styczny | 25 | 2 2 1 | 155,7 | skośny |
| 11 | 2 0 1 | 112,2 | styczny | 26 | 0 3 0 | 161,9 | osiowy |
| 12 | 1 2 0 | 117,7 | styczny | 27 | 3 1 1 | 162,8 | skośny |
| 13 | 0 0 2 | 123,0 | osiowy | 28 | 0 2 2 | 163,7 | styczny |
| 14 | 0 2 1 | 124,3 | styczny | 29 | 2 1 2 | 163,9 | skośny |
| 15 | 2 1 1 | 124,5 | skośny | 30 | 1 3 0 | 168,6 | styczny |

2.2.2 Kryteria Bonello

Do określenia właściwości pomieszczenia w zakresie niskich częstotliwości służą kryteria Bonello (pierwsze i drugie). Dzięki nim możliwe jest zgrubne określenie cech rozkładu rezonansów akustycznych w pomieszczeniu i wskazanie ewentualnych pasm częstotliwości, w których istnieje prawdopodobieństwo powstania zakolorowań dźwięku.

Pierwsze kryterium Bonello mówi o tym, że ilość rezonansów w poszczególnych pasmach 1/3-oktawowych powinna rosnąć wraz ze wzrostem częstotliwości. Graficzną ilustrację ww. kryterium przedstawiono na **rysunku 2.1**.



Rysunek 2.1 Graficzna ilustracja I kryterium Bonello w studio nagrań

Widać więc, że I kryterium Bonello nie jest spełnione; w paśmie o częstotliwości środkowej 63 Hz rezonansów akustycznych jest mniej niż w paśmie je poprzedzającym – można więc spodziewać się, że pojawią się zakolorowania dźwięku.

Dzięki drugiemu kryterium sprawdzone zostały odstępstwa między poszczególnymi rezonansami akustycznymi. Korzystne jest aby były one równomiernie rozmieszczone na skali częstotliwości. Wg Bonello niekorzystna jest sytuacja, w której dwa rezonanse współlistnieją przy którejś z częstotliwości. Pierwsze pokrywające się rezonanse występują dla częstotliwości ok 94 Hz (mod osiowy związany z długością pomieszczenia oraz mod skośny). Znajdują się one w paśmie o częstotliwości środkowej 100 Hz, w którym znajdują się w sumie 4 rezonanse. Drugie kryterium Bonello nie jest spełnione. W **tabeli 2.1** wyróżniono pary rezonansów, które pokrywają się i przy których mogą powstać zakolorowania dźwięku.

2.3 Analiza w zakresie średnich częstotliwości

2.3.1 Regulacja parametrów akustycznych studia nagrań

Jak wspomniano w **rozdziale 2.1**, w celu zapewnienia różnorodnych warunków akustycznych w studio nagrań zaprojektowane zostały przesuwane ustroje akustyczne, których jedna strona jest pochłaniająca, natomiast druga – odbijająca. Przy wykorzystaniu dwóch takich ustrojów (ich dokładny opis znajduje się w **rozdziale 4.7**), dopuszczalne są następujące kombinacje:

- S01 – ustroje znajdują się w pomieszczeniu i są ustawione w taki sposób, że dźwięk pada na każdą ze stron ustroju,

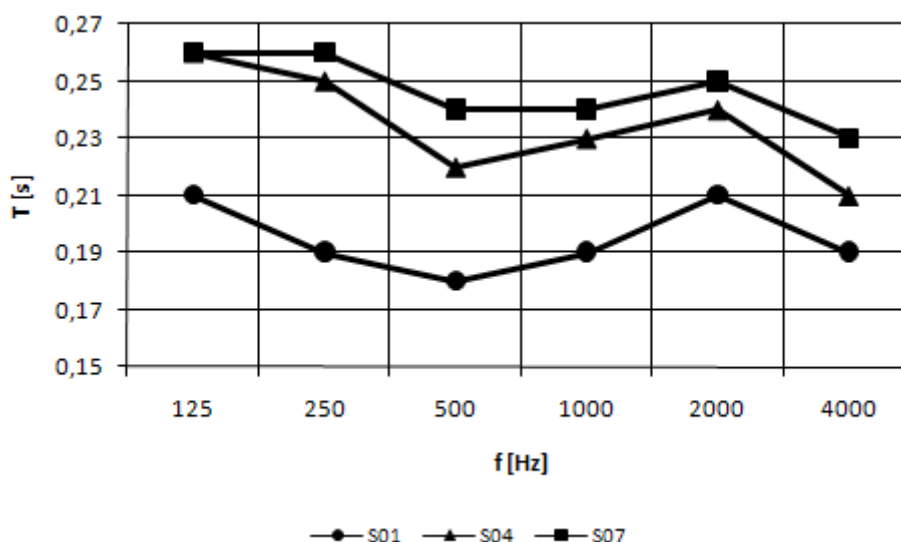
- S02 – w pomieszczeniu znajdują się dwa ustroje, ustawione przy ścianach pomieszczenia powierzchnią odbijającą do wewnątrz,
- S03 – w pomieszczeniu znajdują się dwa ustroje, ustawione przy ścianach pomieszczenia powierzchnią pochłaniającą do wewnątrz,
- S04 – ustroje znajdują się poza pomieszczeniem (nie wpływają w żaden sposób na parametry akustyczne pomieszczenia),
- S05 – w pomieszczeniu znajdują się dwa ustroje, ustawione przy ścianach pomieszczenia: jeden powierzchnią odbijającą, a drugi – pochłaniającą do wewnątrz,
- S06 – jeden z ustrojów znajduje się w pomieszczeniu i jest ustawiony analogicznie jak w sytuacji S01,
- S07 – jeden z ustrojów znajduje się w pomieszczeniu i jest ustawiony powierzchnią odbijającą do wewnątrz,
- S08 – jeden z ustrojów znajduje się w pomieszczeniu i jest ustawiony powierzchnią pochłaniającą do wewnątrz,
- S09 – w pomieszczeniu znajdują się dwa ustroje, jeden ustawiony przy ścianie powierzchnią pochłaniającą do wewnątrz pomieszczenia, a drugi jak w sytuacji S01,
- S10 – w pomieszczeniu znajdują się dwa ustroje, jeden ustawiony przy ścianie powierzchnią odbijającą do wewnątrz pomieszczenia, a drugi jak w sytuacji S01.

2.3.2 Obliczanie czasu pogłosu – teoria statystyczna

Wyniki obliczeń czasu pogłosu dla różnych sytuacji (w zależności od ustawienia ustrojów przesuwanych) przedstawiono w **tabeli 2.2**. Na **rysunku 2.2** przedstawiono z kolei charakterystyki częstotliwościowe dla kilku wybranych sytuacji.

Tabela 2.2 Wyniki obliczeń – teoria statystyczna (studio nagrań)

| ustawienie | czas pogłosu [s] w zależności od częstotliwości [Hz] | | | | | |
|------------|------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|
| | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| S01 | 0,21 | 0,19 | 0,18 | 0,19 | 0,21 | 0,19 |
| S02 | 0,25 | 0,26 | 0,24 | 0,25 | 0,28 | 0,25 |
| S03 | 0,23 | 0,21 | 0,20 | 0,22 | 0,24 | 0,22 |
| S04 | 0,26 | 0,25 | 0,22 | 0,23 | 0,24 | 0,21 |
| S05 | 0,24 | 0,24 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | 0,24 |
| S06 | 0,24 | 0,22 | 0,20 | 0,21 | 0,23 | 0,20 |
| S07 | 0,26 | 0,26 | 0,24 | 0,24 | 0,25 | 0,23 |
| S08 | 0,24 | 0,23 | 0,21 | 0,22 | 0,24 | 0,22 |
| S09 | 0,22 | 0,20 | 0,19 | 0,20 | 0,23 | 0,20 |
| S10 | 0,23 | 0,23 | 0,21 | 0,22 | 0,24 | 0,22 |



Rysunek 2.2 Charakterystyki częstotliwościowe czasu pogłosu w studio nagrań – wybrane sytuacje (S01, S04 oraz S07)

Poprzez wprowadzanie ruchomych ustrojów w różnych konfiguracjach możliwe jest przestrajanie charakterystyki w zakresie od 0,18 s (S01) do 0,24 s (S02, S07). Wartości odnoszą się do oktawy o częstotliwości środkowej 500 Hz. W żadnym z rozpatrywanych przypadków nierównomierności częstotliwościowej charakterystyki czasu pogłosu studia nagrań nie przekraczają 20 % (jedynie w sytuacji S09 przekroczenie występuje dla oktawy o częstotliwości środkowej 2000 Hz; warto zaznaczyć, że różnica między wartością dla 500 Hz i 2000 Hz nie przekracza 0,04 s). Szczegółowe obliczenia przedstawiono dla sytuacji S04 (pomieszczenie bez ustrojów przesuwanych) w **załączniku 2**.

2.4 Analiza w zakresie wysokich częstotliwości

Należy dążyć do sytuacji, w której jedynym źródłem wczesnych odbić docierających do mikrofonu jest podłoga. Ze względu na różne możliwości ustawiania źródeł dźwięku i mikrofonów w pomieszczeniu, nie można jednoznacznie określić miejsc, w których powinny znajdować się ustroje akustyczne. Warunki, w których realizator zdecyduje się na nagrania ustala on sam na podstawie odsłuchu. Zdecydowano się na zastosowanie półwalców jako elementów pochłaniająco-rozpraszających oraz dyfuzorów Schroedera 2D – typu 4 (ustroje rozpraszające).

3 Adaptacja akustyczna reżyserni dźwięku

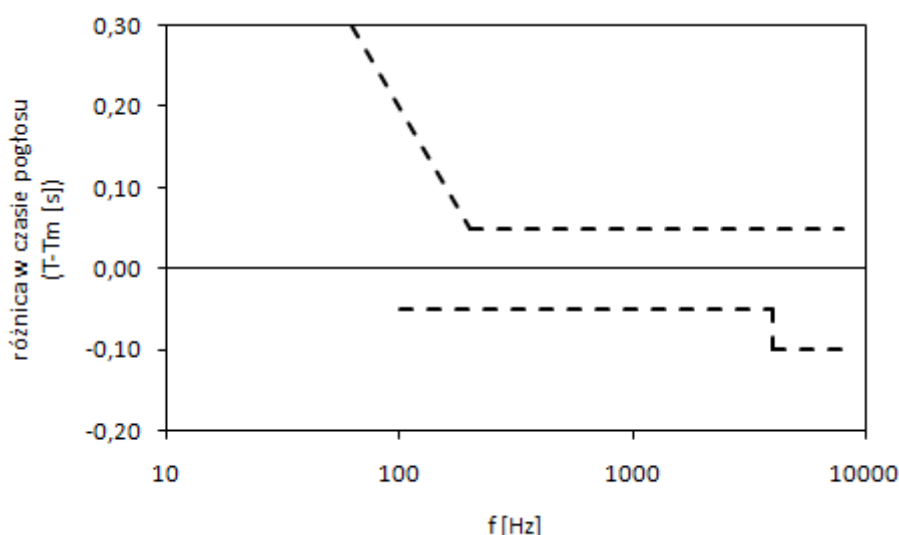
3.1 Założenia projektowe

Adaptowane pomieszczenie służyć ma do odsłuchu nagrań i ich masteringu. Wymagane jest więc uzyskanie warunków akustycznych tzw. neutralnych. Pole akustyczne w takim pomieszczeniu nie powoduje podbić pewnych częstotliwości (równomierna charakterystyka) i nie dodaje swojego „charakteru” do odsłuchiwanego materiału, dając możliwość stworzenia optymalnego masteringu nagrania. Aby uzyskać takie warunki w adaptowanym pomieszczeniu, należy spełnić szereg wymagań, które zostały opisane w niniejszym rozdziale. W głównej mierze założenia projektowe opracowano w oparciu o zalecenia EBU [1].

Nominalny czas pogłosu w reżyserni dźwięku powinien zawierać się w przedziale od 0,2 do 0,4 s. Aby uniknąć podbarwień dźwięku, częstotliwościowa charakterystyka czasu pogłosu powinna być jak najbardziej płaska. Zgodnie z zaleceniami EBU [1], różnice między poszczególnymi wartościami i wartością nominalną (dla oktawy o częstotliwości środkowej 500 Hz) nie powinny wykroczyć poza zakres zaznaczony na **rysunku 3.1**.

W pomieszczeniu należy wykonać pływającą podłogę o odpowiedniej izolacyjności. Istotne jest, że powinna ona być akustycznie odseparowana od pływającej podłogi pod studiem nagrań. Należy także zaprojektować przegrody o odpowiedniej izolacyjności:

- zewnętrzne (chroniące przed dźwiękami z zewnątrz pomieszczenia);
- wewnętrzną – ograniczającą transmisję dźwięku między reżysernią i pomieszczeniem do nagrań.



Rysunek 3.1 Granice tolerancji częstotliwościowej charakterystyki czasu pogłosu w reżyserniach dźwięku [1]

Zależności, które powinny spełniać wymiary pomieszczenia sformułowane są w taki sposób, by rozkład rezonansów akustycznych pomieszczenia był jak najkorzystniejszy (patrz także: **rozdział 3.2.2**):

$$1,1 \cdot \frac{W}{H} \leq \frac{L}{H} \leq 4,5 \cdot \frac{W}{H} - 4, \quad (3.1)$$

gdzie: H – wysokość pomieszczenia, W – szerokość pomieszczenia, L – długość pomieszczenia.

W reżyserni dźwięku bardzo istotnym problemem jest kwestia występowania wczesnych odbić (o opóźnieniu < 15 ms i amplitudzie ciśnienia porównywalnej do amplitudy dźwięku bezpośredniego). W tym celu zastosować należy ustroje pochłaniające lub rozpraszające dźwięk, przy czym w małych pomieszczeniach zaleca się stosowanie ustrojów rozpraszających.

Wyboru referencyjnego punktu odsłuchu należy dokonać w oparciu o zalecenia EBU [1]. Układ monitorów – punkt odsłuchowy powinien tworzyć trójkąt równoboczny o boku długości od 2 do 4 m. W okolicach punktu odsłuchu tworzy się obszar optymalnego odsłuchu o promieniu nie większym niż 0,7 m i środku w referencyjnym punkcie odsłuchu. Należy także uwzględnić rozkład ciśnienia akustycznego rezonansów pomieszczenia (**rozdział 3.2.3**).

3.2 Analiza w zakresie niskich częstotliwości

3.2.1 Rezonanse akustyczne

Adaptowane pomieszczenie to w przybliżeniu prostopadłościan o wymiarach (L x W x H) 3,67 x 3,51 x 2,80 m. Pierwsze 30 rezonansów zgromadzono i przedstawiono w **tabeli 3.1**.

Tabela 3.1 30 pierwszych rezonansów akustycznych reżyserni dźwięku

| numer | f [Hz] | oznaczenie modu | typ modu | numer | f [Hz] | oznaczenie modu | typ modu |
|-----------|--------------|-----------------|---------------|-----------|--------------|-----------------|----------------|
| 1 | 1 0 0 | 46,9 | osiowy | 16 | 1 2 1 | 124,9 | skośny |
| 2 | 0 1 0 | 49,1 | osiowy | 17 | 1 0 2 | 131,6 | styczny |
| 3 | 0 0 1 | 61,5 | osiowy | 18 | 0 1 2 | 132,4 | styczny |
| 4 | 1 1 0 | 67,9 | styczny | 19 | 2 2 0 | 135,8 | styczny |
| 5 | 1 0 1 | 77,4 | styczny | 20 | 1 1 2 | 140,5 | skośny |
| 6 | 0 1 1 | 78,7 | styczny | 21 | 3 0 0 | 140,8 | osiowy |
| 7 | 1 1 1 | 91,6 | skośny | 22 | 0 3 0 | 147,2 | osiowy |
| 8 | 2 0 0 | 93,8 | osiowy | 23 | 2 2 1 | 149,1 | skośny |
| 9 | 0 2 0 | 98,1 | osiowy | 24 | 3 1 0 | 149,1 | styczny |
| 10 | 2 1 0 | 105,9 | styczny | 25 | 3 0 1 | 153,6 | styczny |
| 11 | 1 2 0 | 108,8 | styczny | 26 | 1 3 0 | 154,5 | styczny |
| 12 | 2 0 1 | 112,2 | styczny | 27 | 2 0 2 | 154,7 | styczny |
| 13 | 0 2 1 | 115,8 | styczny | 28 | 0 2 2 | 157,3 | styczny |
| 14 | 2 1 1 | 122,5 | skośny | 29 | 0 3 1 | 159,5 | styczny |
| 15 | 0 0 2 | 123,0 | osiowy | 30 | 3 1 1 | 161,3 | skośny |

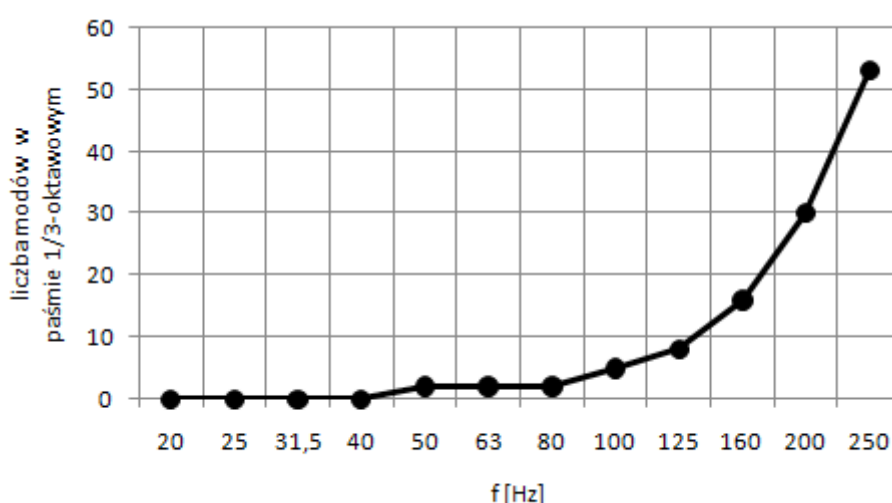
3.2.2 Kryteria Bonello

Graficzną ilustrację I kryterium Bonello przedstawiono na **rysunku 3.2**. Widać, że kryterium jest spełnione – konieczna była odpowiednia modyfikacja wymiarów pomieszczenia. W takim układzie kryterium nie jest spełnione w studio nagrań, jednak priorytetowym pomieszczeniem jest reżysernia, w której uzyskanie optymalnych warunków akustycznych jest sprawą krytyczną.

Biorąc pod uwagę kryteria opisane w [1] - zależności (3.1):

$$1,1 \cdot \frac{W}{H} \leq \frac{L}{H} \leq 4,5 \cdot \frac{W}{H} - 4 \Rightarrow 1,38 > 1,31 \leq 1,64 ,$$

pomieszczenie to nie ma optymalnych wymiarów, jednak uzyskanie takowych było niemożliwe ze względu na wymiary pomieszczenia wyjściowego. Szerokość dobrano na drodze kompromisu tak, by były spełnione kryteria Bonello.



Rysunek 3.2 Graficzna ilustracja I kryterium Bonello w reżyserni dźwięku

Współistniejące mody występują przy częstotliwości ok. 123 Hz (mod skośny 2 1 1 oraz mod styczny 0 0 2). Znajdują się one w paśmie 1/3-oktawowym o częstotliwości środkowej 125 Hz, w którym występuje w sumie 8 rezonansów. II kryterium Bonello jest spełnione. W **tabeli 3.1** wyróżniono pary rezonansów, które pokrywają się i przy których mogą powstać zakolorowania dźwięku.

3.2.3 Referencyjny punkt odsłuchu

Lokalizację punktu odsłuchu oraz urządzeń głośnikowych (źródeł dźwięku) w pomieszczeniu opracowano na podstawie rysunków z **załącznika 3** oraz zaleceń EBU [1]. Ustalono, że bok trójkąta równobocznego tworzącego układ monitory – miejsce odsłuchu będzie miał długość 1,76 m. Nie jest to wartość optymalna (wg EBU), jednak ze względu na rozmiary pomieszczenia i analizę rezonansów akustycznych nie zaleca się stosować innej konfiguracji.

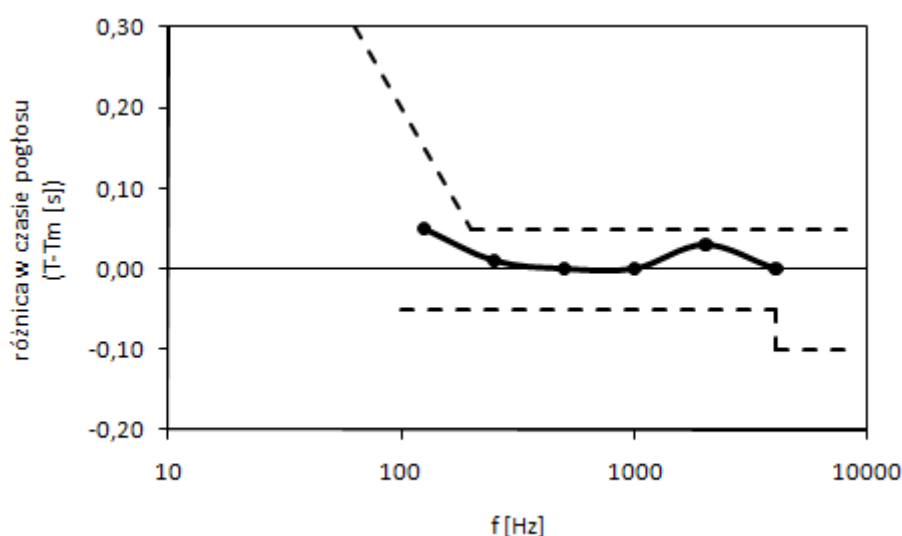
Z analizy rozkładu ciśnienia akustycznego pierwszych rezonansów osiowych (przy danej konfiguracji przestrzennej) można wysnuć następujące wnioski:

- rezonans (1 0 0) związany z długością pomieszczenia będzie wzbudzany i słabo percypowany w miejscu odsłuchu;
- rezonans (2 0 0) związany z długością pomieszczenia będzie wzbudzany i percypowany w miejscu odsłuchu;

- pierwsze rezonanse związane z szerokością pomieszczenia nie będą percypowane przy poprawnym ustawieniu urządzeń głośnikowych i punktu odsłuchu;
- rezonans (0 0 2) związany z wysokością pomieszczenia będzie wzbudzany i percypowany w miejscu odsłuchu;
- pozostałe rezonanse (rzędu < 4) związane z wysokością będą słabo wzbudzone i słabo percypowane w miejscu odsłuchu;

3.3 Analiza w zakresie średnich częstotliwości

Uzyskana charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu w reżyserni dźwięku jest w odpowiednim stopniu płaska i spełnia zalecenia EBU [1]. Różnice między poszczególnymi wartościami i wartością nominalną (dla oktawy o częstotliwości środkowej 500 Hz) nie przekraczają 0,05 s (porównaj: **rysunek 3.3**).



Rysunek 3.3 Granice tolerancji częstotliwościowej charakterystyki czasu pogłosu w projektowanej reżyserni dźwięku

Nominalny czas pogłosu dla reżyserni dźwięku wynosi 0,25 s, co jest optymalną wartością dla pomieszczenia o danej kubaturze (ok. 36 m³). Dokładne obliczenia zgodne z teorią statystyczną dla reżyserni przedstawiono w **załączniku 2**.

3.4 Analiza w zakresie wysokich częstotliwości

Analiza biegu promieni dźwiękowych pozwala właściwie ocenić miejsca, w których powinno się ustawić ustroje akustyczne. Ze względu na nieduże rozmiary adaptowanej przestrzeni ustroje powinny rozpraszać padające na nie fale dźwiękowe, a nie pochłaniać je. Szczegółową analizę biegu promieni dźwiękowych docierających od monitorów do punktu odsłuchu (a także do obszaru odsłuchu) pokazano w **załączniku 4**.

Ruchome ustroje (dyfuzory typu 3) przesuwane wzdłuż boków pomieszczenia pozwolą na „regulację” warunków akustycznych w referencyjnym punkcie odsłuchu. Zdecydowano się na zastosowanie ruchomych ustrojów również ze względu na zachodzenie strefy wczesnych odbić na okno – gdy ważniejszy jest kontakt wzrokowy pomiędzy reżysernią a studiem nagrań ustrój można odsunąć aby

nie zasłaniał widoku, a w przypadku gdy krytyczne są warunki akustyczne w reżyserni ustrój powinien być ustawiony w odpowiednim miejscu określonym szczegółowo w **załączniku 4**.

Odbicia od ściany tylnej i przedniej rozpraszane są przez dyfuzory Schroedera 1D (typ 1 i 2), które działają skutecznie w niższych zakresach częstotliwości niż ustroje na ścianach bocznych.

Należy zaznaczyć, że nieuniknionym źródłem wczesnych odbić jest stół mikserski oraz podłoga (sufit jako, że jest zbudowany z materiału silnie pochłaniającego dźwięk nie będzie uciążliwym źródłem wczesnych odbić).

4 Opis zastosowanych rozwiązań akustycznych

4.1 Wykończenie podłogi w studio nagrań

Aby zapewnić optymalne warunki pogłosowe, podłoga w studio nagrań powinna zostać podzielona na dwie części:

- część wykończoną dywanem (zajmującą środkowy obszar pomieszczenia),
- część wykończoną parkietem – zajmującą pas 20 cm szerokości wokół całego pomieszczenia do nagrań (patrz: **załącznik 1**).

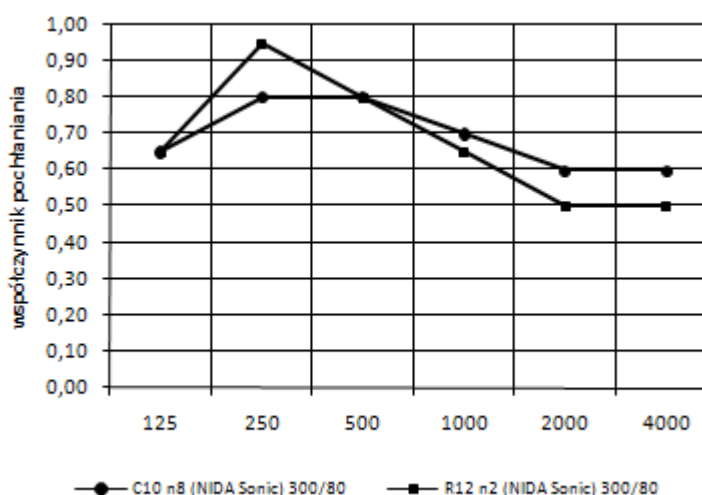
4.2 Podwieszany sufit

Sufit w studio nagrań wykonany jest z płyt gipsowo-kartonowych NIDA Sonic C10 n8 zawieszonych na stelażu z profili metalowych. Całkowita wysokość konstrukcyjna sufitu w studio wynosi 270 mm. Nad całością sufitu znajduje się wełna mineralna o grubości 80 mm i gęstości 20 – 50 kg/m³.

Sufit w reżyserni dźwięku wykonany jest w całości z płyt perforowanych NIDA Sonic R12 n2 zawieszonych na stelażu w odległości 270 mm od istniejącego sufitu. Nad całością sufitu znajduje się wełna mineralna o grubości 80 mm i gęstości 20 – 50 kg/m³. Współczynniki pochłaniania płyt NIDA Sonic, które przyjęto do obliczeń zestawiono poniżej.

Tabela 4.1 Współczynniki pochłaniania przyjęte do obliczeń (zgodnie z teorią statystyczną)

| f [Hz] | NIDA Sonic C10 n8 | NIDA Sonic R12 n2 |
|--------|-------------------|-------------------|
| 125 | 0,65 | 0,65 |
| 250 | 0,80 | 0,95 |
| 500 | 0,80 | 0,80 |
| 1000 | 0,70 | 0,65 |
| 2000 | 0,60 | 0,50 |
| 4000 | 0,60 | 0,50 |



Rysunek 4.1 Charakterystyka częstotliwościowa współczynników pochłaniania płyt NIDA Sonic C10 n8 i R12 n2

W każdym przypadku należy umieścić taśmę dźwiękoizolacyjną pomiędzy profile i kręcone do nich płyty gipsowo-kartonowe.

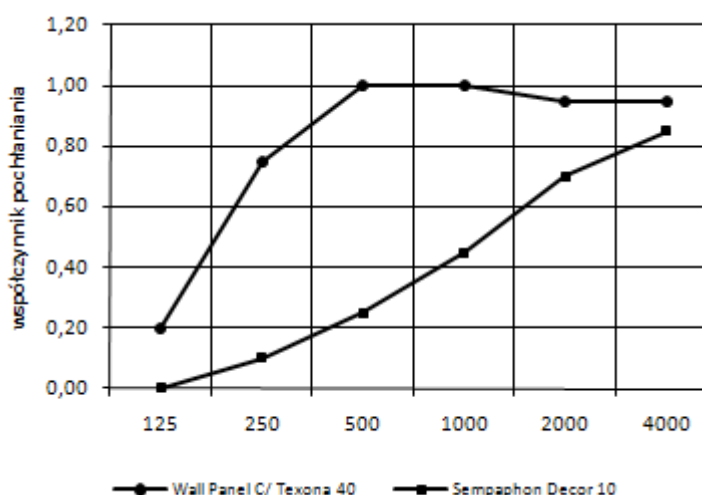
Konstrukcja rusztu pod okładziny sufitowe jest identyczna jak dla standardowych płyt gipsowych. Jedyną różnicą jest mniejszy rozstaw profili poprzecznych – 300 mm. Zaleca się stosowanie rusztu o układzie dwupoziomowym krzyżowym. Szczegóły dotyczące montażu okładzin sufitowych zawarte są w informatorach technicznych Lafarge Gips. Maksymalna odległość pomiędzy wieszakami mocowanymi w profilu głównym CD60 wynosi 900 mm. Maksymalny rozstaw profili głównych warstwy górnej wynosi 1000 mm.

4.3 Ustroje pochłaniające na ścianach

Aby zapewnić wyrównaną charakterystykę czasu pogłosu w całym zakresie należy zastosować ustroje pochłaniające w szerokim zakresie częstotliwości. Zdecydowano się na panele ściennie Ecophon Wall Panel™ oraz tapetę akustyczną Sempaphon Decor (o grubości 10 mm) firmy Sempatap. Ustroje umieszczone są w pasach biegnących dookoła pomieszczeń na wysokości uszu reżysera / wykonawcy. Szczegóły umiejscowienia tapety i paneli ściennych pokazano na rysunkach w załączniku 1. Wartości współczynników pochłaniania, które przyjęto do obliczeń przedstawiono poniżej (tabela 4.2 oraz rysunek 4.2).

Tabela 4.2 Współczynniki pochłaniania przyjęte do obliczeń (zgodnie z teorią statystyczną)

| f [Hz] | tapeta Sempaphon Decor | Ecophon Wall Panel |
|--------|------------------------|--------------------|
| 125 | 0,00 | 0,20 |
| 250 | 0,10 | 0,75 |
| 500 | 0,25 | 1,00 |
| 1000 | 0,45 | 1,00 |
| 2000 | 0,70 | 0,95 |
| 4000 | 0,85 | 0,95 |



Rysunek 4.2 Charakterystyka częstotliwościowa współczynników pochłaniania paneli ściennych Ecophon i tapety akustycznej Sempaphon Decor 10 mm

4.4 Ustroje rozpraszające – dyfuzory Schroedera

Dyfuzory Schroedera 1D – typ 1:

Dyfuzor tego typu umieszczony jest na tylnej ścianie reżyserni dźwięku. Moduł składa się z 29 studzienek o zmiennej głębokości i stałej szerokości 50 mm. Konstrukcja dyfuzora bazuje na sekwencji residuum kwadratowego o okresie 7. Wymiary zewnętrzne modułu to: 1,8 x 1,65 x 0,28 m (wys. x szer. x gł.). Dyfuzor zapewnia optymalne rozpraszanie dźwięku w zakresie 360 Hz do 3,4 kHz. Dyfuzor można podzielić na 2 moduły w celu ułatwienia montażu (pod warunkiem zachowania obliczonej sekwencji).

Dyfuzory Schroedera 1D – typ 2:

Dyfuzory tego typu umieszczone są na przedniej ścianie reżyserni dźwięku. Moduł składa się z 15 studzienek o zmiennej głębokości i stałej szerokości 50 mm. Konstrukcja dyfuzora bazuje na sekwencji residuum kwadratowego o okresie 7. Wymiary zewnętrzne modułu to: 1,2 x 0,86 x 0,28 m

(wys. x szer. x gł.). Dyfuzory zapewniają optymalne rozpraszanie dźwięku w zakresie 360 Hz do 3,4 kHz.

Dyfuzory Schroedera 2D – typ 3:

Dyfuzory tego typu umieszczone są w reżyserni dźwięku (na bocznych ścianach) oraz w studio nagrań. Ich głównym celem jest eliminacja wczesnych odbić. Konstrukcja dyfuzora bazuje na sekwencji residuum kwadratowego o okresie 7, przy czym sekwencja rozwinięta jest w dwóch wymiarach. Moduł składa się z 484 studzienek o zmiennej głębokości i stałej szerokości oraz wysokości 50 mm. Wymiary zewnętrzne modułu to: 1,2 x 1,2 x 0,16 m (wys. x szer. x gł.). Dyfuzory zapewniają optymalne rozpraszanie dźwięku w zakresie 650 Hz do 3,4 kHz.

4.5 Ustroje pochłaniająco-rozpraszające – półwalce

Tego typu ustroje wykonane są ze sklejki. Wewnątrz powinna się znajdować wełna mineralna. Występują dwa typy półwalców. Ich parametry geometryczne wyszczególniono w **tabeli 4.3** (porównaj także: **załącznik 1**).

Tabela 4.3 Parametry geometryczne różnego typu półwalców stosowanych w studio nagrań

| parametr | typ 1 | typ 2 |
|---------------------------|-------|-------|
| wysokość [mm] | 1200 | 1200 |
| ciężciwa [mm] | 800 | 700 |
| maksymalna głębokość [mm] | 350 | 300 |

4.6 Przesuwane dyfuzory Schroedera w reżyserni dźwięku

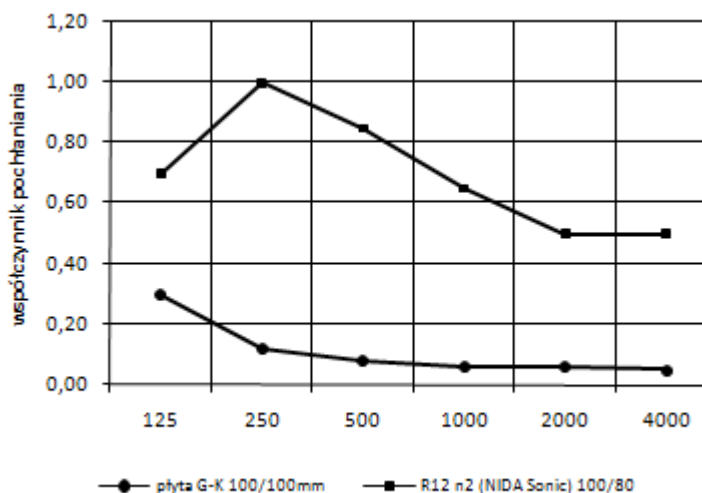
Konstrukcję tego typu ustrojów przedstawiono w rozdziale 4.4. Aby można było przesuwają ustroje po prowadnicach przymocowanych do ściany należy wzmocnić jej konstrukcję. Zaleca się zastosowanie dodatkowego stelażu drewnianego wewnątrz przegrody, do którego mogłyby być przymocowane prowadnice pod dyfuzory. Należy jednak zwrócić szczególną uwagę na sposób wykonania drewnianej konstrukcji stelażu. Nie może on pod żadnym pozorem dotykać obydwóch stron okładziny z płyt G-K. Stanowiłby w ten sposób mostek akustyczny i powodował redukcję właściwości dźwiękoizolacyjnych przegrody. Prowadnice ponadto muszą umożliwiać przesuwanie ustroju w odległości min 40 mm od powierzchni płyt (ponad panelami ściennymi Ecophon Wall Panel™).

4.7 Ruchome ustroje pochłaniająco-odbijające

Tego typu ustroje wykonane są aby uzyskać urozmaicone warunki akustyczne w pomieszczeniu do nagrań. Wykonane są w formie pionowo stojącej ramy o głębokości 0,10 m i wymiarach 1,80 x 1,20 m (wymiar 3/4 płyty gipsowo-kartonowej). Jedna strona wykonana jest ze zwykłej płyty GK, natomiast druga z perforowanej płyty NIDA Sonic R12 n2. Różne możliwości ustawiania tego typu ustrojów w studio nagrań zostały omówione w **rozdziale 2.3**. Poniżej przedstawione zostały wartości współczynników pochłaniania, które przyjęto do obliczeń.

Tabela 4.4 Współczynniki pochłaniania przyjęte do obliczeń (zgodnie z teorią statystyczną)

| f [Hz] | plyta G-K | NIDA Sonic R12 n2 |
|--------|-----------|-------------------|
| 125 | 0,30 | 0,70 |
| 250 | 0,12 | 1,00 |
| 500 | 0,08 | 0,85 |
| 1000 | 0,06 | 0,65 |
| 2000 | 0,06 | 0,50 |
| 4000 | 0,05 | 0,50 |



Rysunek 4.3 Charakterystyka częstotliwościowa współczynników pochłaniania płyt G-K (zwykłych) oraz płyt NIDA Sonic R12 n2 (100 mm c. w. k.)

4.8 Pułapki basowe w reżyserni dźwięku

Pułapki basowe działają na zasadzie rezonatorów Helmholtza i projektowane są dla następujących częstotliwości:

- 47 Hz – rezonans związany z długością pomieszczenia (1 0 0),
- 62 Hz – rezonans związany z wysokością pomieszczenia (0 0 1),
- 94 Hz – rezonans związany z długością pomieszczenia (2 0 0).

Pułapki basowe wykonane będą w rogach pomieszczenia w jego przedniej części, tam gdzie występują maksima ciśnienia rezonansów akustycznych. Dzięki temu pułapki umieszczone w rogach pomiędzy ścianami pomieszczenia są najbardziej efektywne. Poszczególne komory oddzielone są od siebie podwójną warstwą płyt gipsowo-kartonowych. Cała konstrukcja musi być usztywniona za pomocą drewnianych łąt (porównaj: **załącznik 1**). W każdym miejscu, gdzie łąty stykają się z płytą G-K należy zastosować taśmę dźwiękoizolacyjną. W **tabeli 4.5** zgromadzono wartości poszczególnych parametrów pułapek basowych z podziałem na strony (po lewej stronie pomieszczenia komory są większe, więc i parametry pułapek muszą być inne).

Tabela 4.5 Parametry pułapek basowych w reżyserni dźwięku

| parametr | wartość | | |
|---------------------------|---------|--------------|--------|
| częstotliwość rezonansowa | 47 Hz | 62 Hz | 94 Hz |
| strona lewa | | | |
| wysokość komory | 450 mm | 200 / 260 mm | 110 mm |
| długość wlotu | 42 mm | 72 / 42 mm | 45 mm |
| objętość komory | 59,3 l | 34,3 l | 14,5 l |
| strona prawa | | | |
| wysokość komory | 550 mm | 280 / 350 mm | 150 mm |
| długość wlotu | 55 mm | 70 / 44 mm | 46 mm |
| objętość komory | 52,6 l | 33,4 l | 14,3 l |

4.9 Pływająca podłoga

Pływającą podłogę należy wykonać z dużą starannością. Pod każdym legarem (rozstaw 600 mm) należy umieścić taśmę akustyczną zapobiegającą przenoszeniu się dźwięków drogą materiałową (poprzez konstrukcję). Przestrzeń pomiędzy legarami powinna być wypełniona szczelnie (ale nie na sztywno) wełną mineralną. Bardzo istotną kwestią jest mechaniczne odseparowanie części podłogi pływającej, na której znajduje się studio nagrań, od części z reżysernią dźwięku. Podłoga powinna być wykonana albo w dwóch częściach, albo z dylatacją (ani legary ani warstwy podłogi nie powinny się stykać), np. na grubość cięcia.

Należy zaznaczyć, że dylatacja występuje po stronie studia nagrań na całej długości ściany oddzielającej reżyserkę od studia nagrań. W ten sposób ściana oddzielająca pomieszczenia jest także odseparowana od podłogi w studio nagrań, gdzie mogą występować potencjalne źródła drgań przenoszonych przez konstrukcję.

4.10 Przegrody z płyt gipsowo-kartonowych

4.10.1 Przegroda pomiędzy studiem a reżysernią

Ściana jest projektowana zgodnie z katalogiem rozwiązań firmy NIDA. Jest to ściana o pojedynczej konstrukcji nośnej z dwoma rzędami profili metalowych ustawionymi z wzajemnym przesunięciem i podwójnej okładzinie, oznaczona w katalogu jako NIDA Ściana S130. Do konstrukcji wykorzystane są następujące profile:

- U75 – profile obwodowe (poziome),
- C50 – profile pionowe ustawione z wzajemnym przesunięciem.

Profile pionowe montowane są co 300 mm. Do profili pionowych są kręcone zwykłe płyty gipsowo-kartonowe (12,5 mm), a na ich wierzch doklejane są (nie kręcone) płyty ognioochronne o grubości 15 mm (np. NIDA Ogień 15 mm). Użyć kleju akustycznego np. GREEN GLUE. Pod profilami obwodowymi oraz między płytami i profilami pionowymi należy umieścić taśmę akustyczną.

Płyty powinny być kładzione na zakładkę z przesunięciem o pół długości płyty. Skonstruowana w ten sposób ściana powinna charakteryzować się wskaźnikiem izolacyjności akustycznej $R_w \geq 61$ dB przy całkowitej grubości 130 mm.

4.10.2 Przegrody zewnętrzne

Ściana jest projektowana zgodnie z katalogiem rozwiązań firmy NIDA. Jest to ściana o podwójnej konstrukcji nośnej z dwoma rzędami profili metalowych nie przylegających do siebie (10 mm odstęp) i podwójnej okładzinie, oznaczona w katalogu jako NIDA Ściana 205B75 z następującymi modyfikacjami:

- pomiędzy profilami znajduje się taśma dźwiękoizolacyjna, a całkowity odstęp między profilami ma szerokość 10 mm,
- zewnętrzne płyty mają grubość 15 mm (np. NIDA Ogień 15 mm) w miejsce 12,5 mm.

Do konstrukcji przegrody wykorzystane są następujące profile:

- U75 – profile obwodowe (poziome),
- C75 – profile pionowe.

Profile pionowe montowane są co 600 mm. Do profili pionowych są kręcone zwykłe płyty gipsowo-kartonowe (12,5 mm), a na ich wierzch doklejane są (nie kręcone) płyty ognioochronne o grubości 15 mm (np. NIDA Ogień 15 mm). Użyć kleju akustycznego np. GREEN GLUE. Pod profilami obwodowymi oraz między płytami i profilami pionowymi należy umieścić taśmę akustyczną.

Płyty powinny być kładzione na zakładkę z przesunięciem o pół długości płyty. Skonstruowana w ten sposób ściana powinna charakteryzować się wskaźnikiem izolacyjności akustycznej $R_w \geq 64$ dB przy całkowitej grubości 215 mm.

5 Wnioski

Studio nagrań zaprojektowano w taki sposób, by można było dostosowywać warunki akustyczne w tym pomieszczeniu do potrzeb realizatora lub wykonawcy. Zadbano przy tym o równomierność charakterystyki częstotliwościowej czasu pogłosu. Różne możliwe do uzyskania warunki akustyczne w pomieszczeniu do nagrań otrzymano przez zastosowanie przesuwanych ustrojów akustycznych. Jedna strona ustroju wykonana jest z płyty gipsowo-kartonowej (zwykłej) - stanowi więc powierzchnię odbijającą dźwięk. Druga strona natomiast wykonana jest z perforowanej płyty NIDA Sonic L5x80 n8 i stanowi powierzchnię pochłaniającą. Uzyskuje się w ten sposób przestrajaną charakterystykę czasu pogłosu o wartościach (dla oktawy 500 Hz) z zakresu 0,18 s do 0,24 s (± 14 % względem wartości średniej) z zachowaniem równomierności tejże charakterystyki.

W reżyserni dźwięku uzyskano płaską charakterystykę czasu pogłosu, zgodną z zaleceniami EBU [1]. Wartość nominalna czasu pogłosu jest optymalna dla pomieszczenia o kubaturze równej ok. 36 m³. Poprzez zastosowanie ruchomych ustrojów rozpraszających możliwa jest regulacja (w pewnym zakresie) ilości wczesnych odbić docierających do reżysera dźwięku. Na rysunkach (**załącznik 1**) zaznaczono optymalne położenie tych ustrojów. Warto zauważyć, że w takim położeniu ustroje nieznacznie zachodzą na okno, ograniczając w ten sposób pole widzenia realizatora. Jednak na czas nagrania możliwe jest przesunięcie ustrojów a kompromis między potrzebami akustyki i realizatora dźwięku jest osiągalny.

Montaż dźwiękoizolacyjnych okien i drzwi (o jak największym wskaźniku izolacyjności akustycznej – zaleca się zakupienie drzwi o wskaźniku $R'_{AI} \geq 48$ dB i okna o $R'_{AI} \geq 48 - 50$ dB) należy przeprowadzić z wielką starannością i dbałością o szczegóły. Należy postępować zgodnie z instrukcją podaną przez producenta drzwi lub okna. Nawet najmniejsze nieszczelności spowodują drastyczne pogorszenie się wypadkowych właściwości dźwiękoizolacyjnych rozpatrywanej przegrody.

Warunkiem uzyskania opisanego powyżej charakteru akustycznego wnętrza jest zastosowanie materiałów o takich samych właściwościach akustycznych jak opisano w niniejszym opracowaniu. Ponadto wymagany będzie wysoki reżim wykonawczy oraz **nadzór** nad wykonawstwem. Szczególnie ważny jest etap powstawania przegród między pomieszczeniami i montażu okien i drzwi.

Zaznacza się, że w trakcie realizacji przedsięwzięcia należy wykonać kontrolne pomiary czasu pogłosu i pozostałych parametrów akustycznych (D50, C80 oraz EDT). Pomiary należy wykonać na 4 etapach wyszczególnionych poniżej:

- przed montażem sufitu podwieszanego, ale po montażu ścian z płyt gipsowo-kartonowych (bez paneli ściennych Ecophon i tapety akustycznej Sempaphon Decor) oraz podłóg;
- po montażu sufitu podwieszanego w obydwu pomieszczeniach;
- po zamontowaniu paneli ściennych i tapet akustycznych – przed montażem ustrojów akustycznych (półwalców, dyfuzorów, itp.);

- po pełnym wykończeniu sali (po montażu ustrojów akustycznych).

Po wykonaniu powyższych pomiarów będzie możliwa weryfikacja czy parametry akustyczne pomieszczeń spełniają określone w niniejszym opracowaniu wytyczne.

Jakiegolwiek zmiany typu materiału czy też jego ilości bez konsultacji z projektantami spowoduje nieważność ww. wniosków.

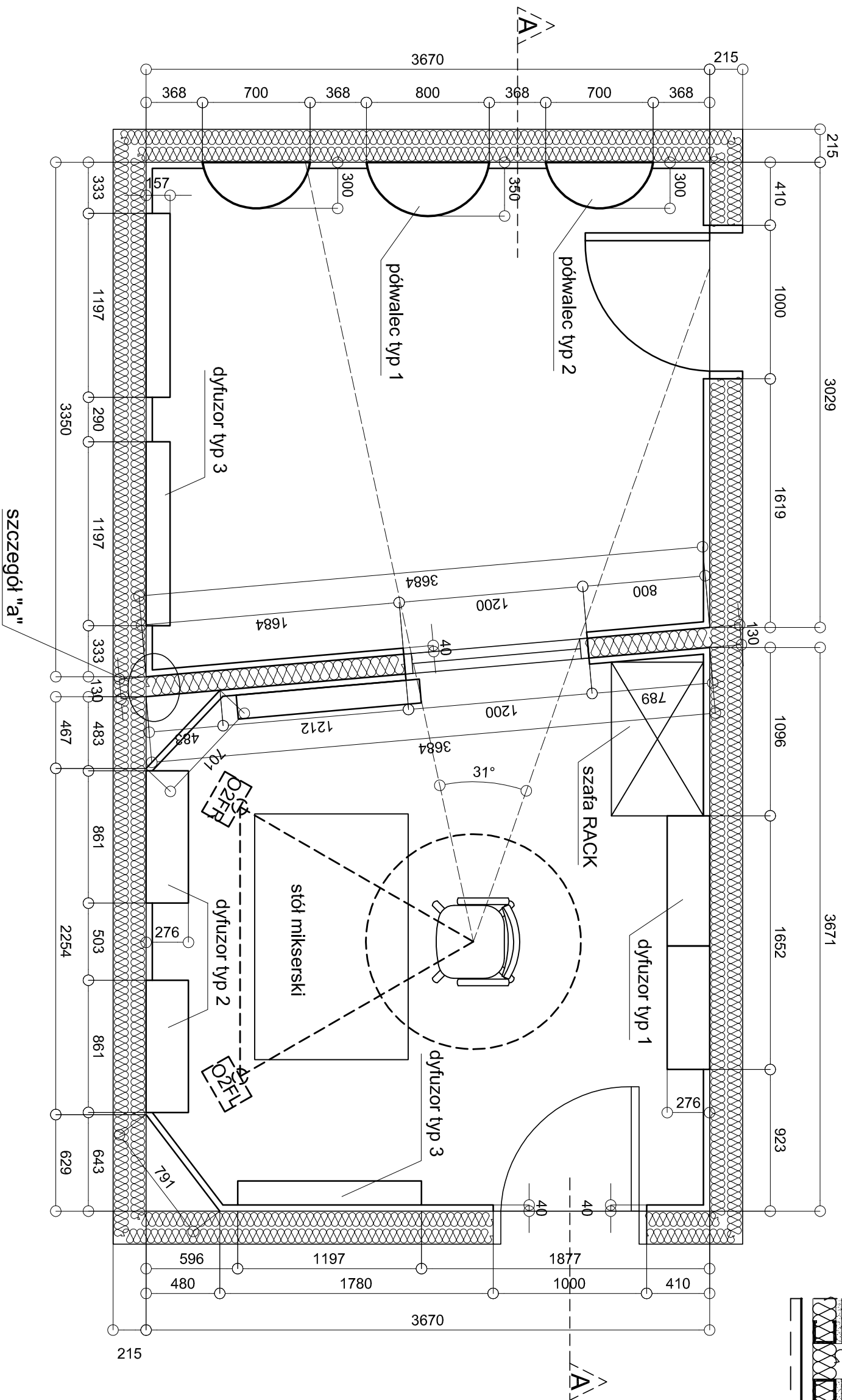
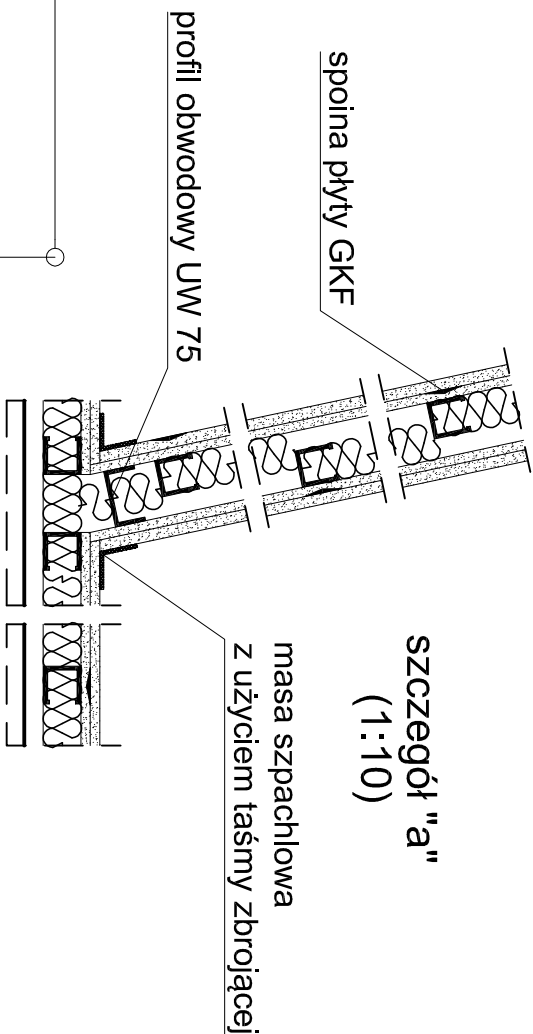
UWAGA!!

- kolorystyka płyt, paneli i ustrojów jest zależna od architekta
- ilość tapety akustycznej Sempaphon Decor oraz paneli ściennych Ecophon może ulec zmianie po wykonaniu pomiarów parametrów akustycznych na poszczególnych etapach realizacji
- kanały, w których znajdują się kable powinny być wypełnione wełną mineralną i zakręcać w kilku miejscach pod kątem prostym, w taki sposób, by w jak największym stopniu zminimalizować transmisję dźwięku przy ich pomocy pomiędzy pomieszczeniami
- gniazdka i przyłącza należy montować w ścianach po obydwu jej stronach z wzajemnym przesunięciem (zarówno w pionie jak i w poziomie), tak by nie stanowiły dogodnej drogi dla przenikającego dźwięku

Literatura

- [1] - EBU Tech. 3276, *Listening Conditions for the assessment of sound programme material. Monophonic and two-channel stereophonic*, European Broadcasting Union, Genewa 1998
- [2] - Ballou R. H., *Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia*, Howard W. Sams & Co, USA 1991
- [3] - Everest F. A., *The master handbook of acoustics*, McGraw-Hill, 2001
- [4] - Bolejko R., *Wpływ kształtu na pole akustyczne wewnątrz przestrzeni ograniczonej*, XLVIII OSA, Wrocław 2001

Załącznik 1 Projekt adaptacji akustycznej pomieszczenia



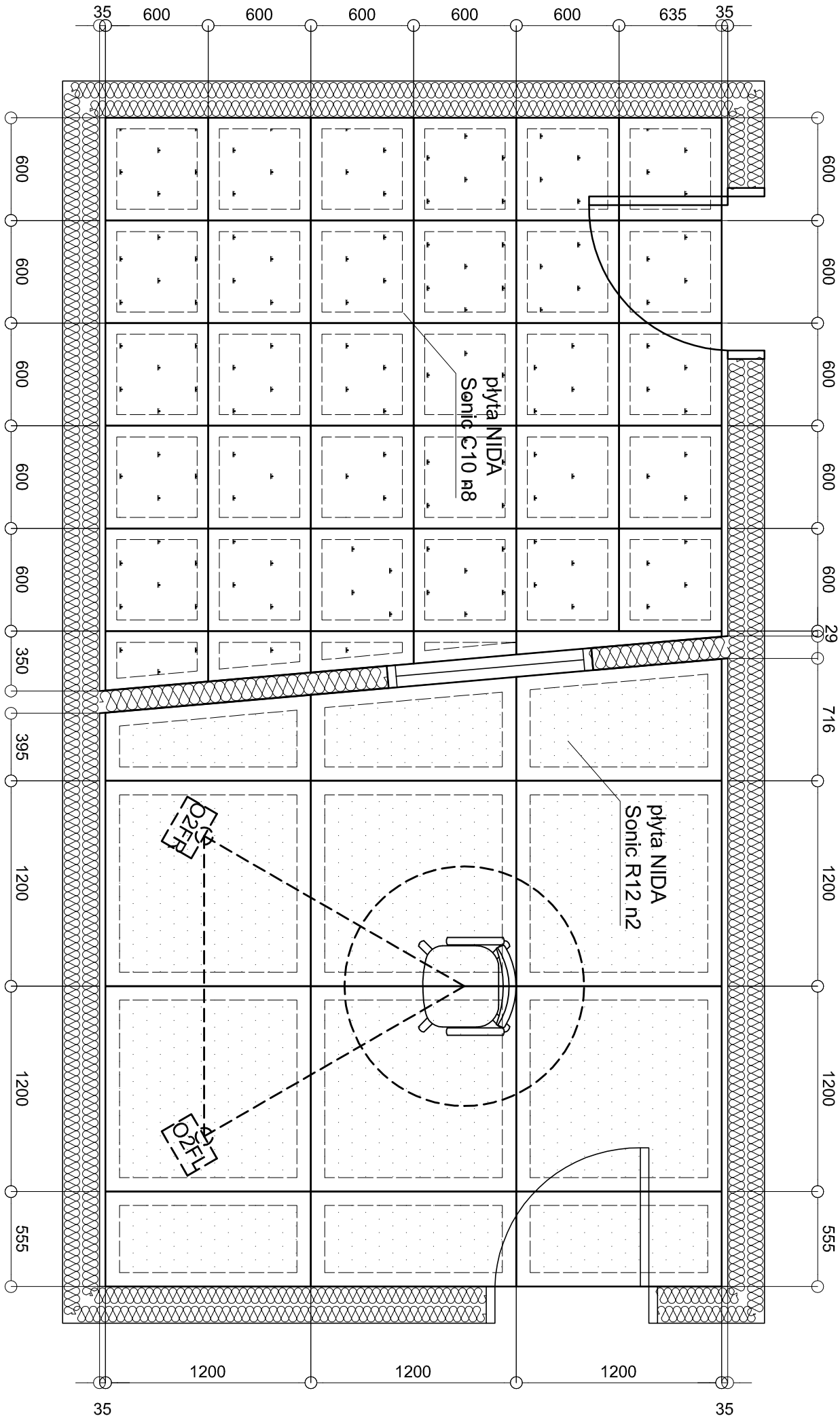
METRYKA:

PROJEKT ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ
STUDIA NAGRAŃ I REŻYSERII
W MIEJSKIM DOMU KULTURY W MŁAWIE

RZUT POMIESZCZENIA:
USTROJE AKUSTYCZNE
SKALA 1:30

AUTOR:
> 4SOUND, WROCŁAW

MŁAWAŁÓDŹ/WROCŁAW, PAŹDZIERNIK2009 RYS. NR R-1



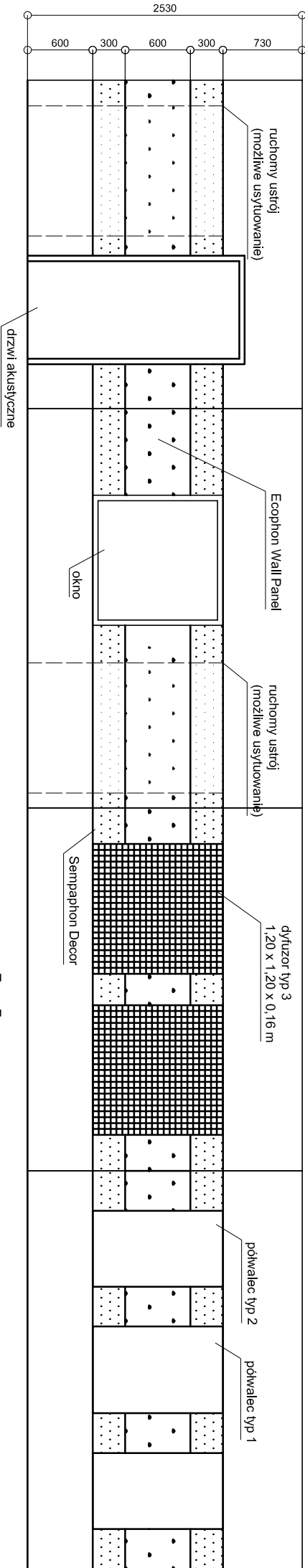
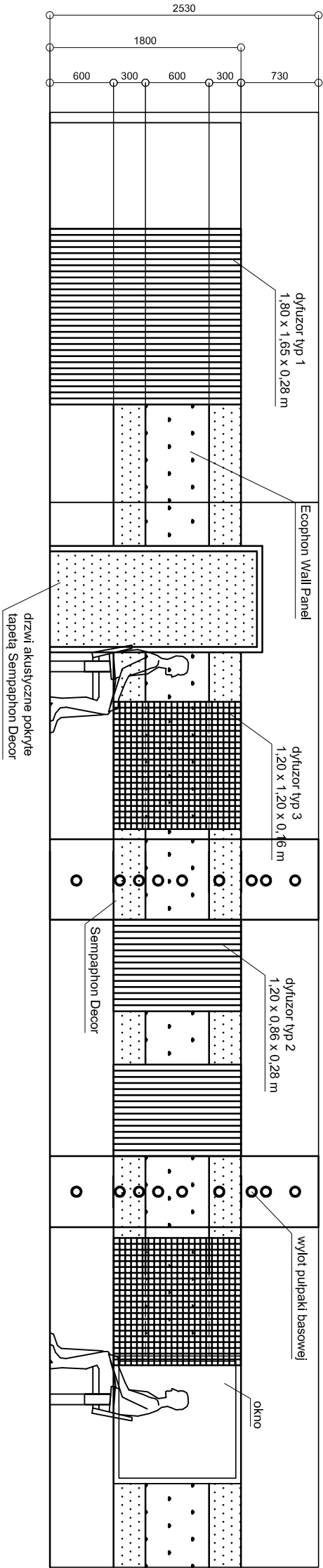
METRYKA:
PROJEKT ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ
STUDIA NAGRAŃ I REŻYSERII
W MIEJSKIM DOMU KULTURY W MŁAWIE

**RZUT POMIESZCZENIA:
ROZMIESZCZENIE PŁYT
SUFITOWYCH
SKALA 1:30**

AUTOR:
> 4SOUND, WROCŁAW
MŁAWA ŁÓDŹ WROCŁAW, PAŹDZIERNIK 2009 **RYS. NR R-3**

reżyserka

S W L N P E



S W L N E

studio

METRYKA:
PROJEKT ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ
STUDIA NAGRAŃ I REŻYSERNI
W MIEJSKIM DOMU KULTURY W MŁAWIE

WIDOKI ŚCIAN
SKALA 1:50

AUTOR:
> 4SOUND, WROCŁAW
MŁAWA/ŁÓDŹ/WROCŁAW, PAŹDZIERNIK 2009 RYS. NR P-1

Załącznik 2 Obliczanie czasu pogłosu w pomieszczeniach – zastosowanie metody statystycznej

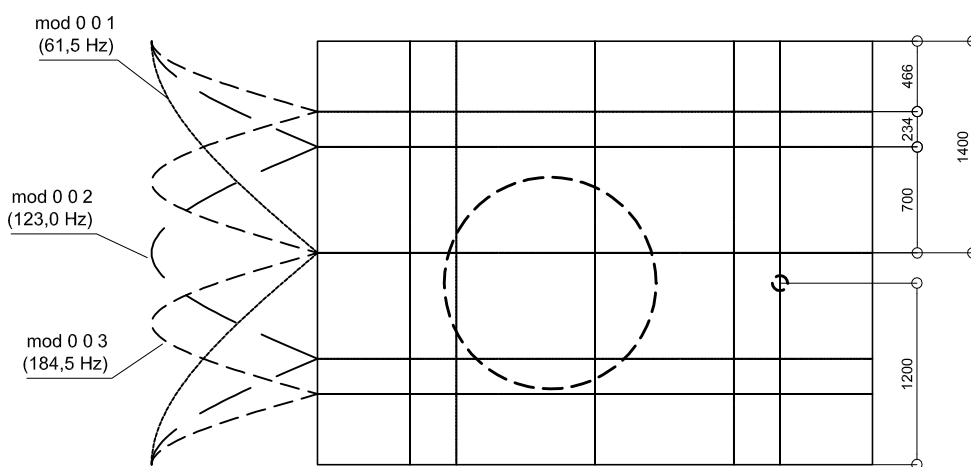
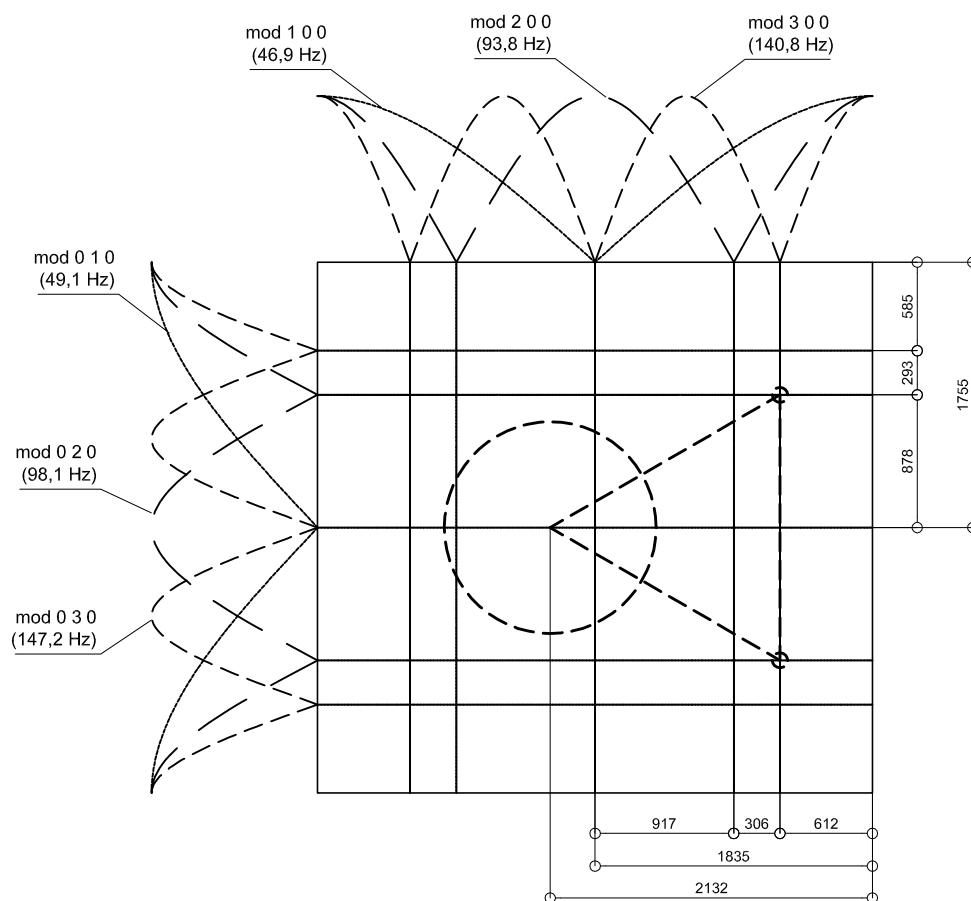
Studio nagrań (S04):

| typ powierzchni | materiał | S [m ²] | 125 Hz | | 250 Hz | | 500 Hz | | 1000 Hz | | 2000 Hz | | 4000 Hz | |
|-------------------------------------|----------------------|---------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | | α | A | α | A | α | A | α | A | α | A | α | A |
| podłoga | dywan miękki | 9,11 | 0,09 | 0,82 | 0,08 | 0,73 | 0,21 | 1,91 | 0,26 | 2,37 | 0,27 | 2,46 | 0,37 | 3,37 |
| podłoga | parkiet | 2,60 | 0,20 | 0,52 | 0,15 | 0,39 | 0,10 | 0,26 | 0,10 | 0,26 | 0,05 | 0,13 | 0,10 | 0,26 |
| sufit | NIDA Sonic C10 n8 | 11,71 | 0,65 | 7,61 | 0,80 | 9,37 | 0,80 | 9,37 | 0,70 | 8,20 | 0,60 | 7,03 | 0,60 | 7,03 |
| ściana | płyta G-K | 17,65 | 0,30 | 5,30 | 0,12 | 2,12 | 0,08 | 1,41 | 0,06 | 1,06 | 0,06 | 1,06 | 0,05 | 0,88 |
| ściana | tapeta Sempaphon | 4,16 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,42 | 0,25 | 1,04 | 0,45 | 1,87 | 0,70 | 2,91 | 0,85 | 3,54 |
| ściana | Ecophon Wall Panel™ | 4,16 | 0,20 | 0,83 | 0,75 | 3,12 | 1,00 | 4,16 | 1,00 | 4,16 | 0,95 | 3,95 | 0,95 | 3,95 |
| drzwi | drzwi drewniane | 1,80 | 0,14 | 0,25 | 0,10 | 0,18 | 0,06 | 0,11 | 0,08 | 0,14 | 0,10 | 0,18 | 0,10 | 0,18 |
| okno | podwójna szyba 10 mm | 1,44 | 0,10 | 0,14 | 0,07 | 0,10 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 |
| ustrój akustyczny | półwalce | 2,64 | 0,31 | 0,82 | 0,33 | 0,87 | 0,29 | 0,77 | 0,25 | 0,66 | 0,20 | 0,53 | 0,22 | 0,58 |
| ustrój akustyczny | dyfuzory | 2,88 | 0,12 | 0,35 | 0,10 | 0,29 | 0,14 | 0,40 | 0,22 | 0,63 | 0,06 | 0,17 | 0,12 | 0,35 |
| SUMA | | 58,15 | | 16,64 | | 17,59 | | 19,50 | | 19,39 | | 18,45 | | 20,17 |
| α_{sr} | | | 0,29 | | 0,30 | | 0,34 | | 0,33 | | 0,32 | | 0,35 | |
| T [s] przy V = 32,78 m ³ | | | 0,26 | | 0,25 | | 0,22 | | 0,23 | | 0,24 | | 0,21 | |
| δ [%] | | | 18,2 | | 13,6 | | - | | 4,6 | | 9,1 | | -4,6 | |

Reżysernia dźwięku:

| typ powierzchni | materiał | S [m ²] | 125 Hz | | 250 Hz | | 500 Hz | | 1000 Hz | | 2000 Hz | | 4000 Hz | |
|-------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|----------|-------|
| | | | α | A | α | A | α | A | α | A | α | A | α | A |
| podłoga | dywan miękki | 12,62 | 0,09 | 1,14 | 0,08 | 1,01 | 0,21 | 2,65 | 0,26 | 3,28 | 0,27 | 3,41 | 0,37 | 4,67 |
| sufit | NIDA Sonic R12 n2 | 12,62 | 0,65 | 8,20 | 0,95 | 11,99 | 0,80 | 10,10 | 0,65 | 8,20 | 0,50 | 6,31 | 0,50 | 6,31 |
| ściana | plyta G-K | 18,22 | 0,30 | 5,47 | 0,12 | 2,19 | 0,08 | 1,46 | 0,06 | 1,09 | 0,06 | 1,09 | 0,05 | 0,91 |
| ściana | tapeta Sempaphon | 2,82 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,28 | 0,25 | 0,71 | 0,45 | 1,27 | 0,70 | 1,97 | 0,85 | 2,40 |
| ściana | Ecophon Wall Panel™ | 2,82 | 0,20 | 0,56 | 0,75 | 2,12 | 1,00 | 2,82 | 1,00 | 2,82 | 0,95 | 2,68 | 0,95 | 2,68 |
| drzwi | drzwi drewniane oklejone tapetą Sempaphon | 1,80 | 0,00 | 0,00 | 0,10 | 0,18 | 0,25 | 0,45 | 0,45 | 0,81 | 0,70 | 1,26 | 0,85 | 1,53 |
| okno | podwójna szyba 10 mm | 1,33 | 0,10 | 0,13 | 0,07 | 0,09 | 0,05 | 0,07 | 0,03 | 0,04 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 |
| ustrój akustyczny | dyfuzory | 7,89 | 0,12 | 0,95 | 0,10 | 0,79 | 0,14 | 1,10 | 0,22 | 1,74 | 0,06 | 0,47 | 0,12 | 0,95 |
| SUMA | | 60,12 | | 16,45 | | 18,65 | | 19,36 | | 19,25 | | 17,22 | | 19,48 |
| $\alpha_{\text{śr}}$ | | | 0,27 | | 0,31 | | 0,32 | | 0,32 | | 0,29 | | 0,32 | |
| T [s] przy V = 36,06 m ³ | | | 0,31 | | 0,26 | | 0,25 | | 0,25 | | 0,28 | | 0,25 | |
| δ [%] | | | 24,0 | | 4,0 | | - | | 0,0 | | 12,0 | | 0,0 | |

Załącznik 3 Rozkład ciśnienia dla pierwszych rezonansów osiowych w reżyserni dźwięku – lokalizacja punktu odsłuchowego



METRYKA:

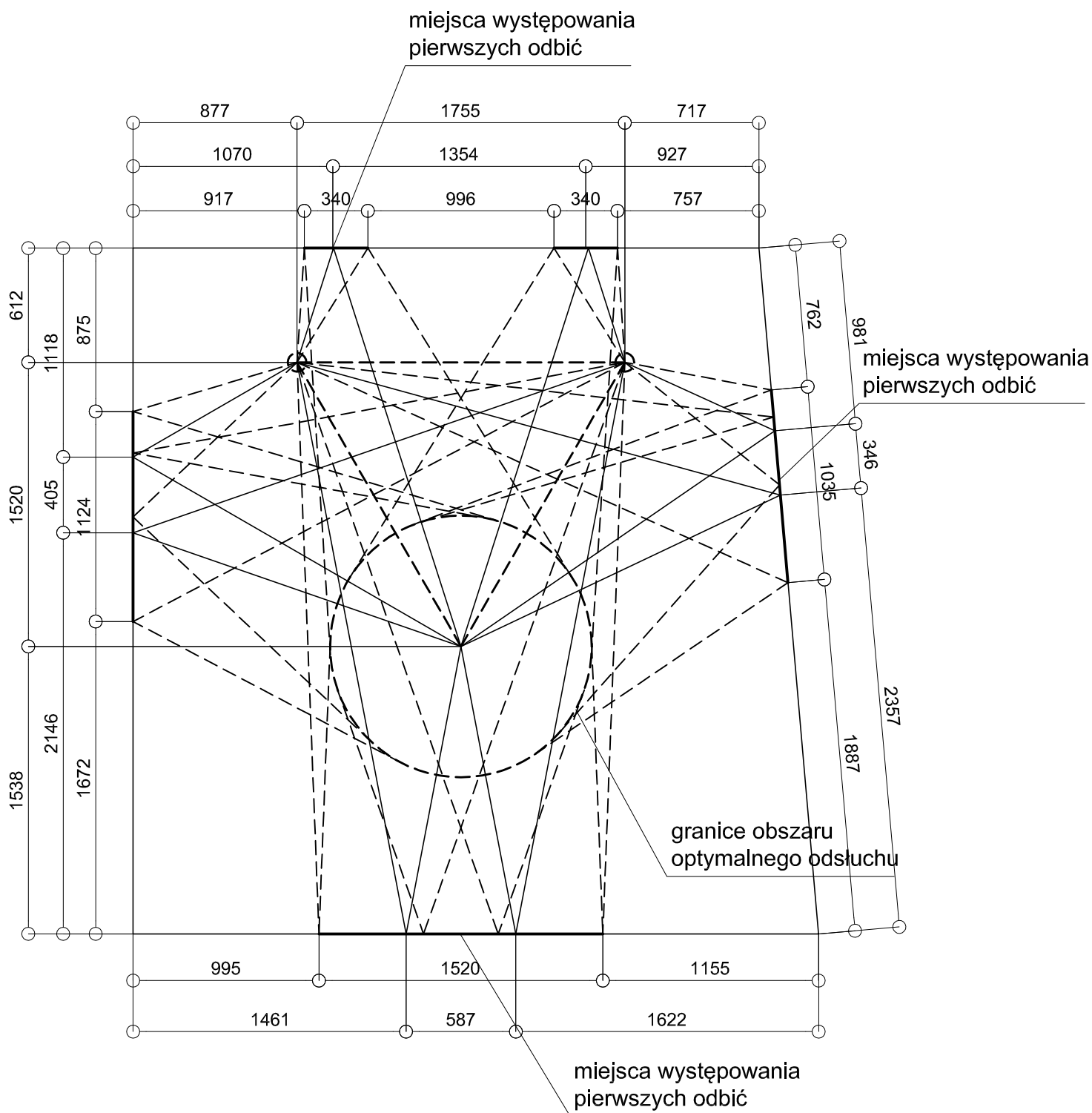
PROJEKT ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ
STUDIA NAGRAŃ I REŻYSERNI
W MIEJSKIM DOMU KULTURY W MŁAWIE

ANALIZA REZONANSÓW AKUSTYCZNYCH - UPROSZCZONY RZUT ORAZ PRZEKRÓJ SKALA 1:50

AUTOR:
> 4SOUND, WROCŁAW

MŁAWA/ŁÓDŹ/WROCŁAW, PAŹDZIERNIK'2009 RYS. NR M-1

Załącznik 4 Pierwsze odbicia dźwięku w adaptowanym pomieszczeniu



METRYKA:

PROJEKT ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ
STUDIA NAGRAŃ I REŻYSERNI
W MIEJSKIM DOMU KULTURY W MŁAWIE

PIERWSZE ODBICIA DŹWIĘKU SKALA 1:30

AUTOR:
> 4SOUND, WROCŁAW