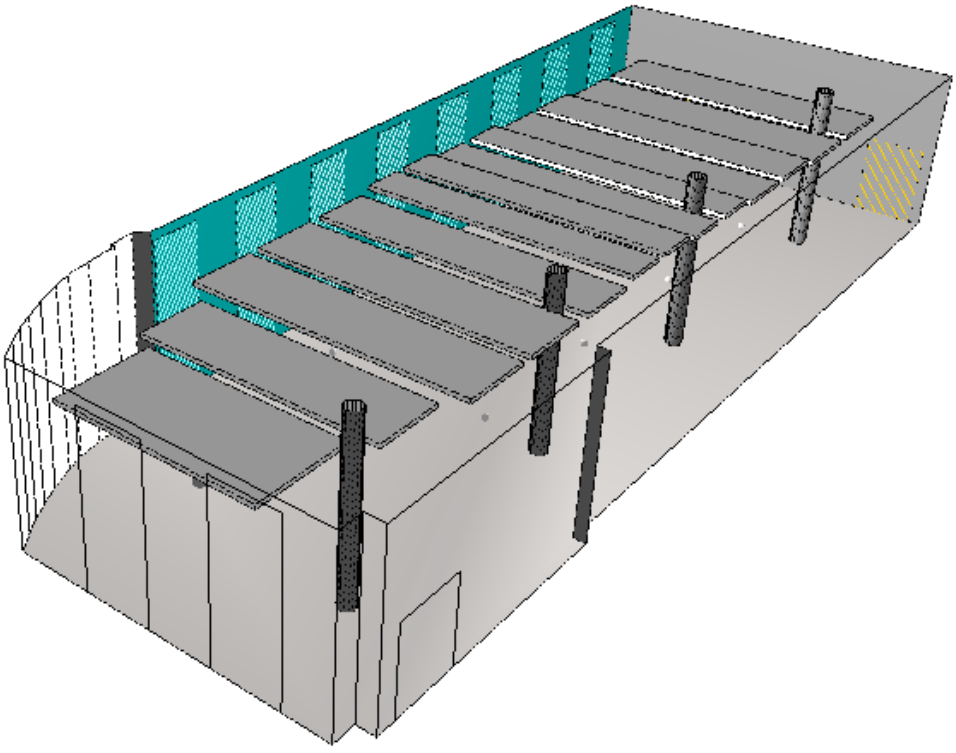
PROJEKT ADAPTACJI AKUSTYCZNEJ I PIĘTRA BUDYNKU G BIURA ZARZĄDU ŁSSE NA SALĘ KONFERENCYJNĄ

Inwestor: Łódzka Specjalna Strefa Ekonomiczna S.A.
ul. ks. Biskupa Wincentego Tymienieckiego 22G w Łodzi



mgr inż. Marek Antoniak

Maj 2025

domagało wnuk architekci

93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl

SPIS TREŚCI

Wstęp 3

Podstawa i cel opracowania 3
Podstawa 3
Zakres opracowania 3
Wymagania akustyczne 4
Akustyka wnętrz – opis parametrów 5
Charakterystyka czasu pogłosu – RT 5
Miara subiektywnego odczuwania przejrzystości dźwięku – C-80 7
Zalecenia dotyczące akustyki wnętrz 8
Dane techniczne sali konferencyjnej 9
Wytyczne akustyczne 10
Założenia do prac adaptacyjnych 11
Wyniki symulacji sali konferencyjnej 17

Podsumowanie 66

WSTĘP

Podstawa i cel opracowania

Celem wykonania niniejszego projektu adaptacji akustycznej (PAA) jest precyzyjne określenie rodzajów i ilości materiałów koniecznych do zastosowania w nowo aranżowanej Sali na potrzeby Sali konferencyjnej (w tym zmiana sposobu użytkowania, przebudowa) I piętra budynku G Biura Zarządu ŁSSE.

Inwestor: Łódzka Specjalna Strefa Ekonomiczna S.A. z siedzibą w Łodzi przy ul. ks. Biskupa Wincentego Tymienieckiego 22G w Łodzi.

Podstawa

- Zlecenie z dnia 12.05.2025 r,
- Rzuty i przekroje budynku otrzymane od Zamawiającego,
- *PN-B-02151-2 – Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 2: Dopuszczalne wartości poziomu dźwięku w pomieszczeniach,*
- *PN-B-02151-4 – Akustyka budowlana – Ochrona przed hałasem w budynkach – Część 4: Wymagania dotyczące warunków pogłosowych i zrozumiałości mowy w pomieszczeniach oraz wytyczne prowadzenia badań,*
- Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie *dopuszczalnych poziomów hałasu w środowisku* z dnia 14 czerwca 2007 r.,
- Literatura branżowa

Zakres opracowania

Zakresem niniejszego opracowania jest przeprowadzenie odpowiednich symulacji komputerowych w zakresie dobranych rozwiązań materiałowych w zakresie ich współczynników pochłaniania dźwięku celem osiągnięcia wymaganych warunków pogłosowych T30 i warunków w zakresie wskaźnika zrozumiałości mowy STI.

Główną funkcją sali konferencyjnej jest funkcja słowna i dla takiej należy utrzymać warunki akustyczne. Salę konferencyjna rozpatrzono pod kątem akustyki naturalnej bez dodatkowego nagłośnienia – jako najtrudniejszy przypadek – co nie oznacza, że nie potrzebuje wzmocnienia elektroakustycznego. W niniejszym opracowaniu nie odnoszono się do izolacyjności przegród zewnętrznych, wewnętrznych i posadzek.

93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl

Akustyka wnętrz – opis parametrów

Charakterystyka czasu pogłosu – RT

Czas pogłosu (ang. *Reverberation Time)* jest istotnym parametrem, określającym jakość akustyki wnętrz. Definiowany jako czas, wyrażony w sekundach, w którym poziom dźwięku spada odpowiednio o 60, 30, 20 lub 10 dB od momentu wyłączenia źródła dźwięku, gdy w pomieszczeniu panował stan ustalony.

Parametr ten wpływa na zrozumiałość mowy, brzmienie muzyki oraz poziom ciśnienia docierający do słuchaczy. Wartości RT uzależnione są od rodzaju zastosowanych materiałów, kształtu powierzchni w pomieszczeniu, stopnia wypełnienia publicznością oraz warunków atmosferycznych.

Temperatura i wilgotność mają jednak zdecydowanie mniejszy wpływ niż pozostałem czynniki. Istnieją zalecane wartości czasu pogłosu, jakie powinny panować w pomieszczeniach przeznaczonych dla muzyki i form słownych w funkcji objętości. Powyżej opisane zależności można wyrazić wzorem:

V – kubatura pomieszczenia,
S – powierzchnia
– średnia ważona współczynników pochłaniania dźwięku ścian o polach powierzchni S_i:

A – chłonność akustyczna obiektów znajdujących się w pomieszczeniu

A_j – chłonność akustyczna pojedynczego obiektu,
J – liczba obiektów w pomieszczeniu
m – współczynnik pochłaniania dźwięku przez powietrze:

Częstotliwość [Hz]	*125*	*250*	*500*	*1000*	*2000*	*4000*
m [m^{-1}]	0,000025	0,00009	0,00025	0,0008	0,0025	0,007

Charakterystyka częstotliwościowa czasu pogłosu dla wszystkich pomieszczeń powinna być płaska w funkcji częstotliwości, z dopuszczeniem następujących odstępstw:

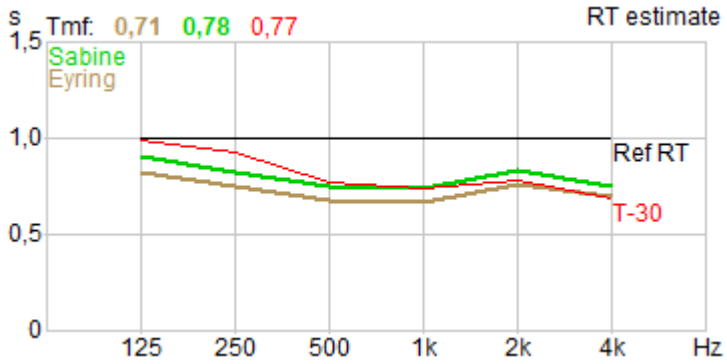
- Dla częstotliwości poniżej 250 Hz dopuszcza się wzrost o ok. 20% na każdą oktawę (ze względu na manifestowanie się zjawisk falowych i trudności w wytworzeniu wystarczającej chłonności akustycznej elementów wystroju sali w zakresie niskich częstotliwości.

- Dla częstotliwości powyżej 2000 Hz dopuszcza się spadek o ok. 20% na oktawę (ze względu na silne pochłanianie dźwięku przez powietrze w zakresie wysokich częstotliwości, niemożliwe do skompensowania przez dobór materiałów wykończeniowych.

Przy aranżacji wnętrz należy zwrócić szczególną uwagę na odpowiednie rozmieszczenie materiałów. Równomierne rozmieszczenie materiałów pochłaniających i rozpraszających zapewni uzyskanie jednakowych warunków pogłosowych i równomierny rozkład pola akustycznego w pomieszczeniu.

Dla pomieszczenie Sali konferencyjnej o tej pojemności ze względu na wymóg normowy w zakresie dobrej zrozumiałości mowy w zakresie komunikacji, przyjęto poniższe wartości akustyczne w zakresie wymaganego czasu pogłosu T30 przyjęto poniższe wartości:

Częstotliwość	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Sala	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0	≤1,0



Szacowany czas pogłosu Rt modelu Sali konferencyjnej po adaptacji

Charakterystyka wskaźnika zrozumiałości mowy – wskaźnik STI

Parametr ten w sposób bezpośredni określa stopień zrozumiałości mowy na drodze transmisji sygnału w danym pomieszczeniu. W efekcie wielokrotnego nakładania się różnych warstw sygnału, zachodzącego wskutek bliższych i dalszych odbić, maleje głębokość modulacji transmitowanego sygnału.

Metoda **STI** (ang. *Speech Transmission Index*) opiera się na pomiarach wykonanych w 7 pasmach oktawowych, których częstotliwości środkowe z zakresu 125 – 8000 Hz są modulowane czternastoma różnymi częstotliwościami. Ich wartości wynikają z podzielnia przedziału
0,63 – 12,5 Hz na pasma tercjowe, których częstotliwości środkowe odpowiadają wartościom częstotliwości modulacji.

Do wyznaczenia odpowiedzi impulsowej h(t) wykorzystuje się zazwyczaj pobudzenie akustyczne w postaci sekwencji szumowych o stałej gęstości widmowej. Szczególnie przydatne do tego celu są sygnały MLS (Maximum Length Sequence). Cechą wspólną tych sekwencji jest stała amplituda sygnału przyjmująca tylko wartości Umax i Umin oraz funkcją autokorelacji w postaci delty Diraca. Z tego powodu uzyskany przebieg odpowiedzi impulsowej wykazuje dużą odporność na działanie zewnętrznych zakłóceń.

Metoda **RASTI** opiera się na 9 pomiarach przeprowadzonych w 2 pasmach oktawowych o częstotliwościach środkowych *500* i *2000 Hz* (dla *f = 500 Hz* częstotliwości modulacji zawierają się w zakresie *1- 8 Hz* z odstępem tercjowym, natomiast dla *f = 2000 Hz* częstotliwości modulacji zawierają się w zakresie *0,7 - 11,2 Hz* również z odstępem tercjowym) co powoduje **znaczne skrócenie** czasu pomiaru. Metoda ta opiera się na wyznaczeniu modulacyjnej funkcji przejścia **MTF** (ang. *modulation transfer function*):

$$MTF = \int_0 \infty p^2(t)\, e^{-j\omega t}\, dt$$

$$MTF = \frac{m_{out}}{m_{in}} \qquad \int_0^{\infty} p^2(t)\,dt$$

gdzie *m* - głębokość modulacji.

System transmisji jakim jest pomieszczenie **zmniejsza stopień modulacji** sygnału, natomiast nie zmniejsza kształtu sinusoidalnej fali modulacyjnej.

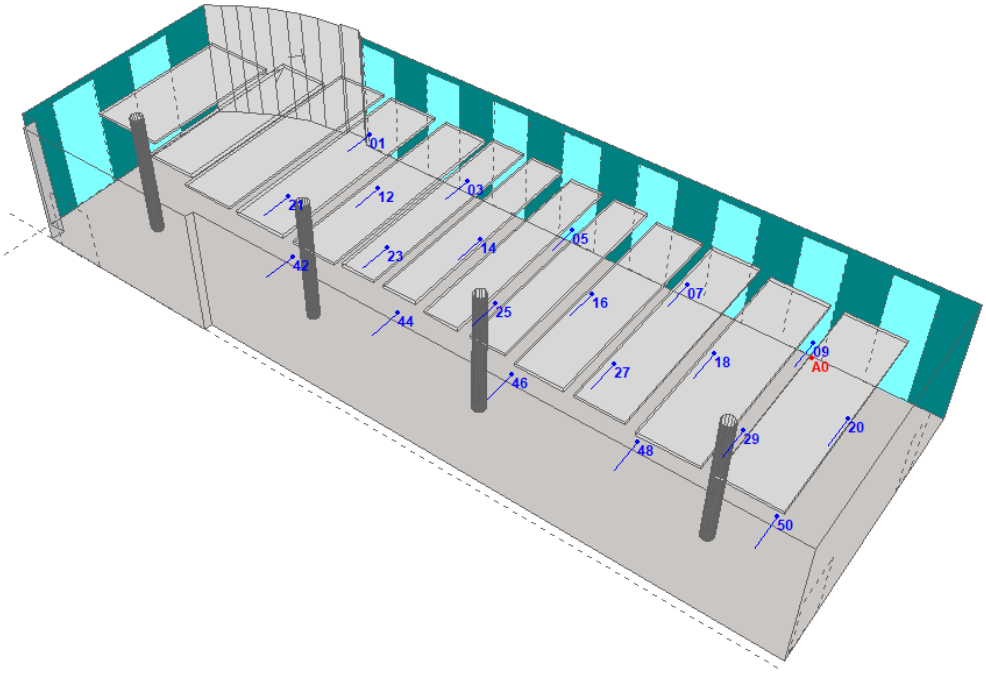
Poniżej przedstawiono zależność między współczynnikiem **RASTI** a zrozumiałością mowy:

RASTI/STI [%]	Zrozumiałość mowy
0 – 30	zła
30 – 45	uboga
45 – 60	dostateczna
60 – 75	dobra
75 – 100	doskonała

DANE TECHNICZNE SALI KONFERENCYJNEJ

Rozpatrywana Sala konferencyjna posiada następujące parametry:

Objętość Sali ~ 1.100,00 m3
Wysokość netto Sali konferencyjnej ~ 4,10 m
Wysokość żagli Sali konferencyjnej ~ zmienna od 3,10 m do 3,62 m
Szerokość Sali konferencyjnej ~ 9,71 m
Długość Sali konferencyjnej ~ 26,00 m
Powierzchnia Sali konferencyjnej ~ 244,80 m2
Maksymalna ilość miejsc siedzących – 152 sztuki

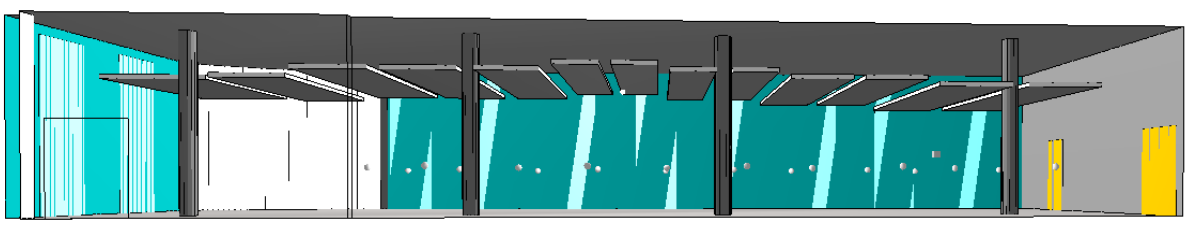


Widok aksonometryczny ściany Sali konferencyjnej wraz z lokalizacją materiałów akustycznych

Do wykonania symulacji przyjęto:

- ściany boczne żelbetowe odlewane w formie żeber - współczynniki pochłaniania dźwięku określono normowo jak dla betonu zatartego na gładko,
- żagle sufitowe – ustroje akustyczne mikro perforowane,
- posadzka pcv - współczynniki pochłaniania dźwięku określono normowo,
- sufit powyżej żagli – współczynniki pochłaniania dźwięku jak dla betonu,
- źródło wszechkierunkowe oznaczone pkt A0,
- mapa na poziomie 120 cm nad poziomem posadzki,
- symulacja bez obecności ludzi,
- drzwi drewniane jak w normie PN-B-02151-4
- kotara jak w normie PN-B-02151-4
- zestawy szybowe jak w normie PN-B-02151-4

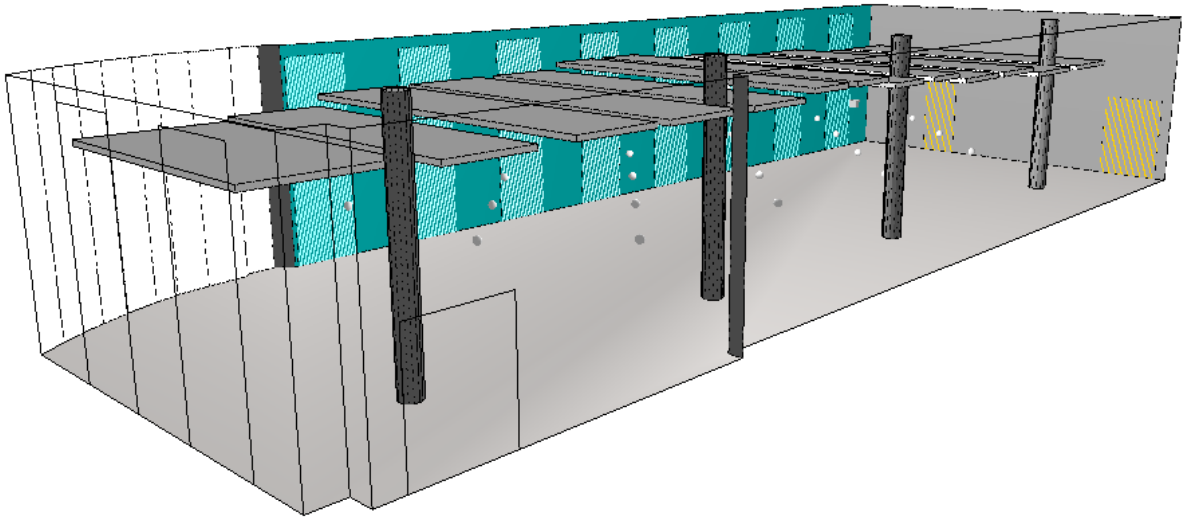
WYTYCZNE AKUSTYCZNE



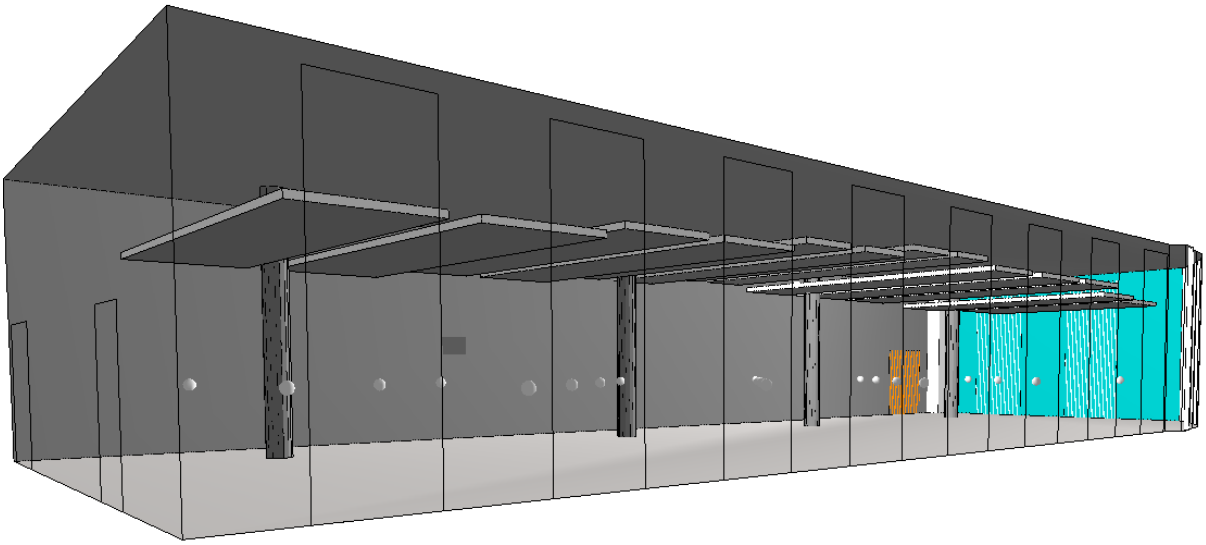
Widok aksonometryczny ściany Sali konferencyjnej wraz z lokalizacją materiałów akustycznych

domagało wnuk architekci

93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl



Widok aksonometryczny ściany Sali konferencyjnej wraz z lokalizacją materiałów akustycznych



Widok aksonometryczny ściany Sali konferencyjnej wraz z lokalizacją materiałów

Założenia do prac adaptacyjnych

Do przeprowadzenia symulacji wykorzystano następujące materiały:

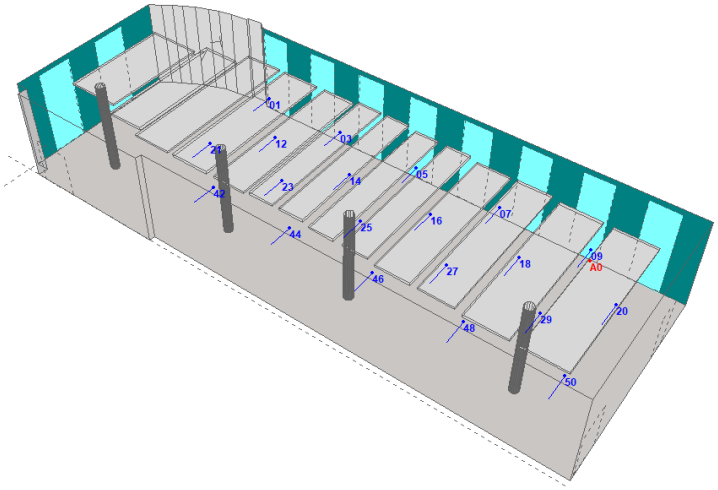


Widok na żagle sufitowe

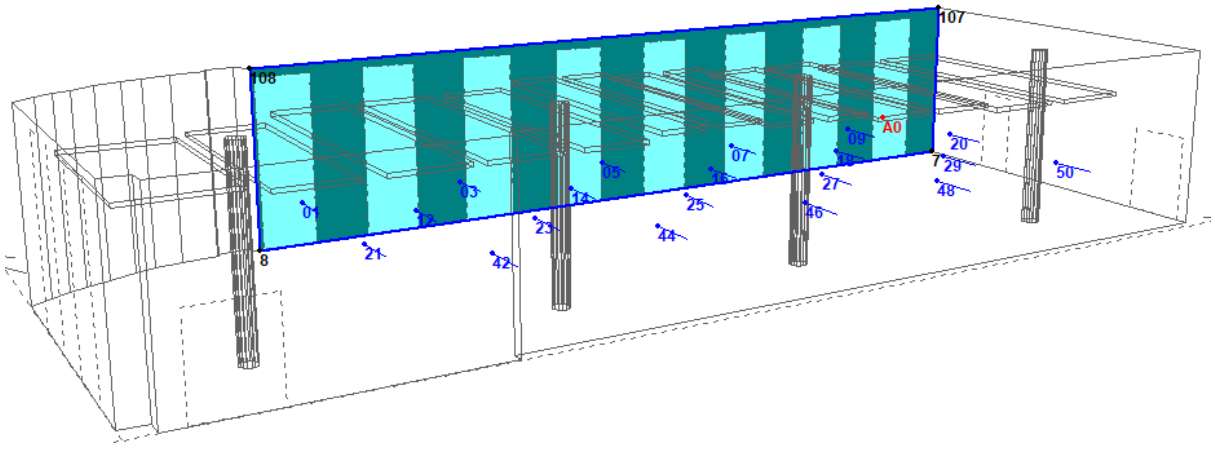
Całą powierzchnię sufitową – żaglową - oznaczoną kolorem ciemno szarym - należy wykonać z ustrojów płyt typu mdf o grubości od 15 do 19 mm mikro perforowanych z flizeliną i wypełnieniem wewnątrz wełną mineralną. Sufit wykonać w technologii sufitów podwieszanych wyspowych wolno wiszących. Współczynniki pochłaniania dźwięku na poziomie nie wyższym niż podane poniżej:

Proponowany materiał	cwk	**Płyta sufitowa akustyczna**				
Konstrukcja	całkowita wysokość konstrukcyjna ustroju min 200 mm	~płyta mdf mikro perforowana fi 1,2 mm w rozstawie co 4 mm pokrycie powierzchni 7,07%. ~konstrukcja drewniana zabezpieczona ppoż. ~ wełna mineralna gr 180 mm, ~ pustka powietrzna 20 mm, ~ zawiesia noniuszowe stalowe ~ zamkniecie sklejką, ~istniejący strop żelbetowy				
						168,50 m2
f [Hz]	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
α (±10%)	0,90	0,90	0,85	0,75	0,55	0,45

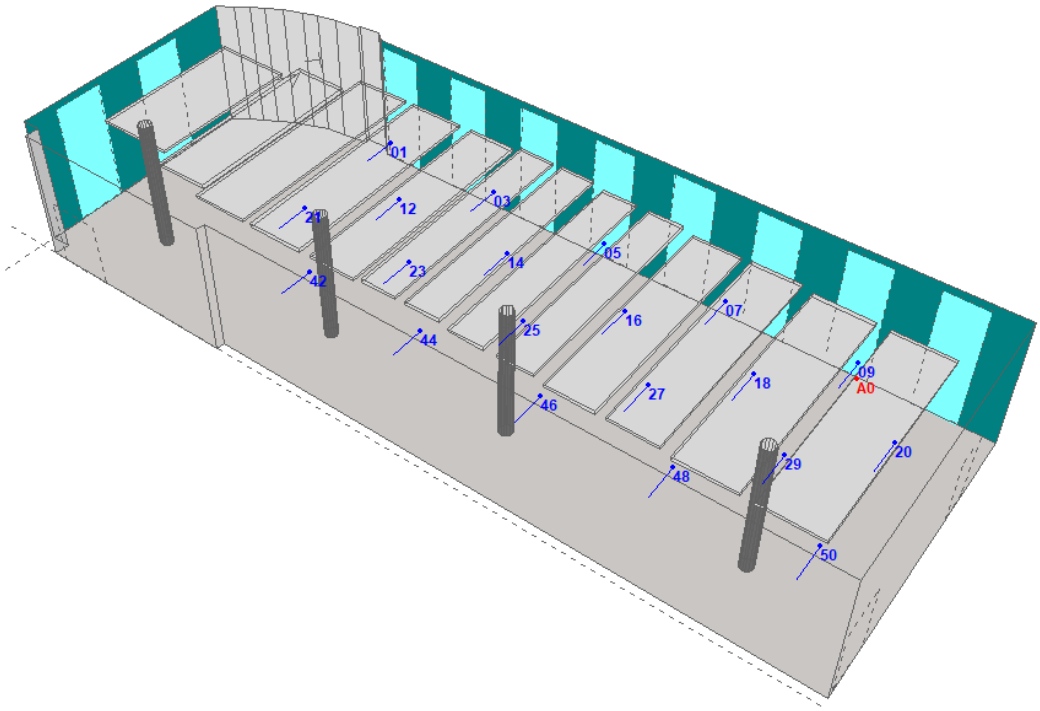
Jakakolwiek inna zmiana materiału jest możliwa po przedstawieniu osiągniętych i potwierdzonych w niezależnym laboratorium pomiarowym współczynników pochłaniania dźwięku i otrzymaniu akceptacji przez naszą pracownię.



Widok na żagle sufitowe



Widok na kotarę drapowaną na ścianie z oknami

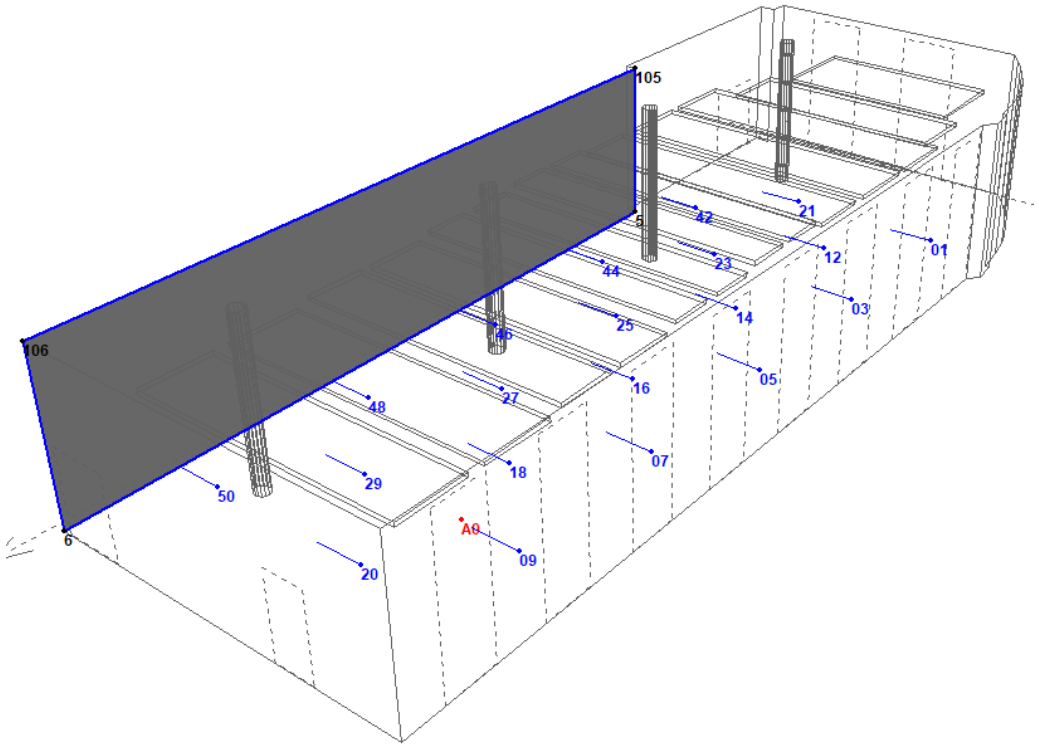


Widok na kotarę drapowaną na ścianie z oknami

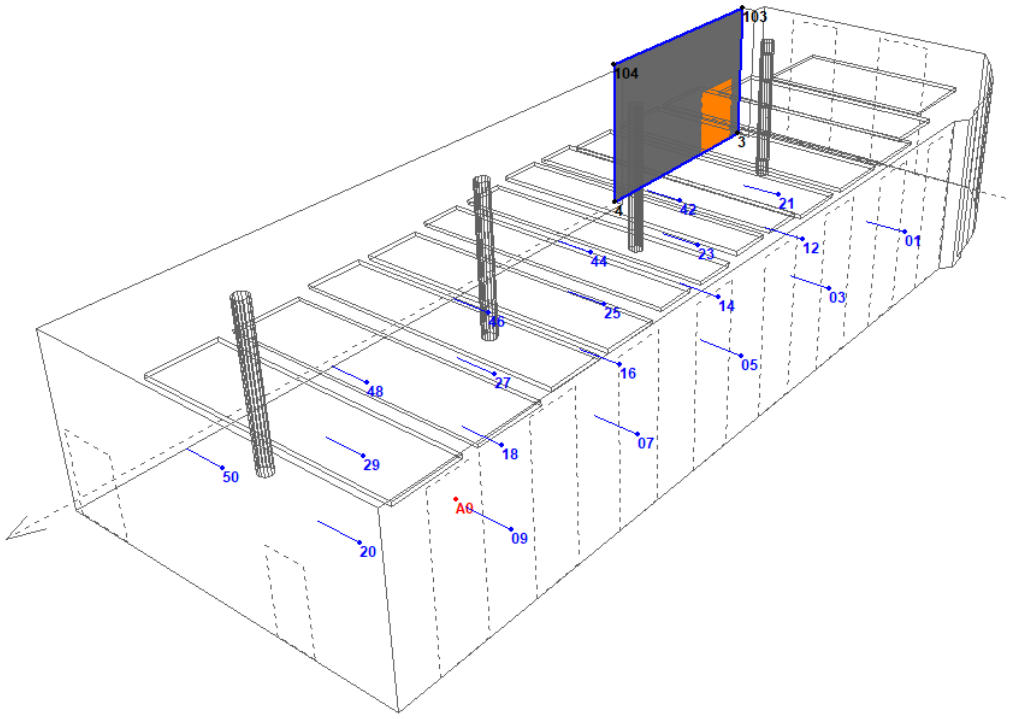
Całą powierzchnię ścienną w osi C z oknami - oznaczoną kolorem zielonym - należy wykonać z wolno wiszącej grubo drapowanej kotary około 0,4 kg/m2 układanej w fałdy lub marszczonej > 1:3 w odległości do 200 mm przed twardą powierzchnią. Współczynniki pochłaniania dźwięku na poziomie nie wyższym niż podane poniżej:

Proponowany materiał	cwk	**Kotary drapowane**				
						66,50 m2
f [Hz]	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
α (±10%)	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	0,99

Jakakolwiek inna zmiana materiału jest możliwa po przedstawieniu osiągniętych i potwierdzonych w niezależnym laboratorium pomiarowym współczynników pochłaniania dźwięku i otrzymaniu akceptacji przez naszą pracownię.



Widok na odlew betonowy na ścianie w osi A1

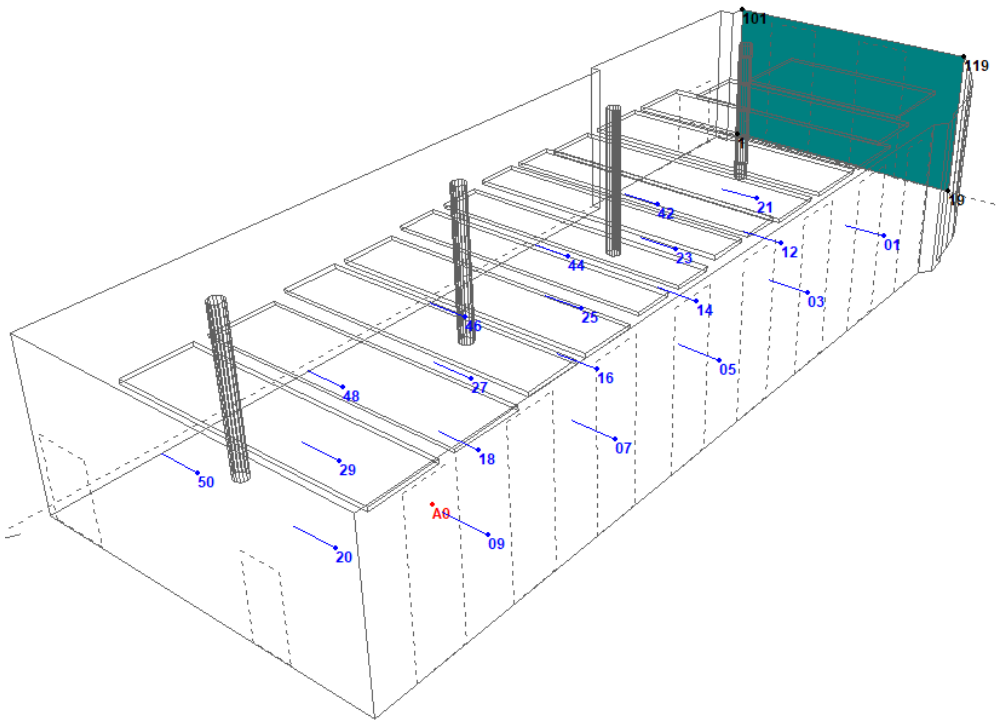


Widok na odlew betonowy na ścianie w osi A1

Całą powierzchnię ścienną w osi A1 z drzwiami - oznaczoną kolorem ciemno szarym - należy wykonać z odlewów betonowych. Współczynniki pochłaniania dźwięku na poziomie nie wyższym niż podane poniżej:

Proponowany materiał	cwk	**Płytka rozpraszająca drapowana**				
Konstrukcja	całkowita wysokość konstrukcyjna ustroju min 55 mm	~płyta betonowa drapowana ~ podkonstrukcja lub klej elastyczny ~istniejąca zabudowa ścienna				
						~92,00 m2
f [Hz]	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
α (±10%)	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,05

Jakakolwiek inna zmiana materiału jest możliwa po przedstawieniu osiągniętych i potwierdzonych w niezależnym laboratorium pomiarowym współczynników pochłaniania dźwięku i otrzymaniu akceptacji przez naszą pracownię.

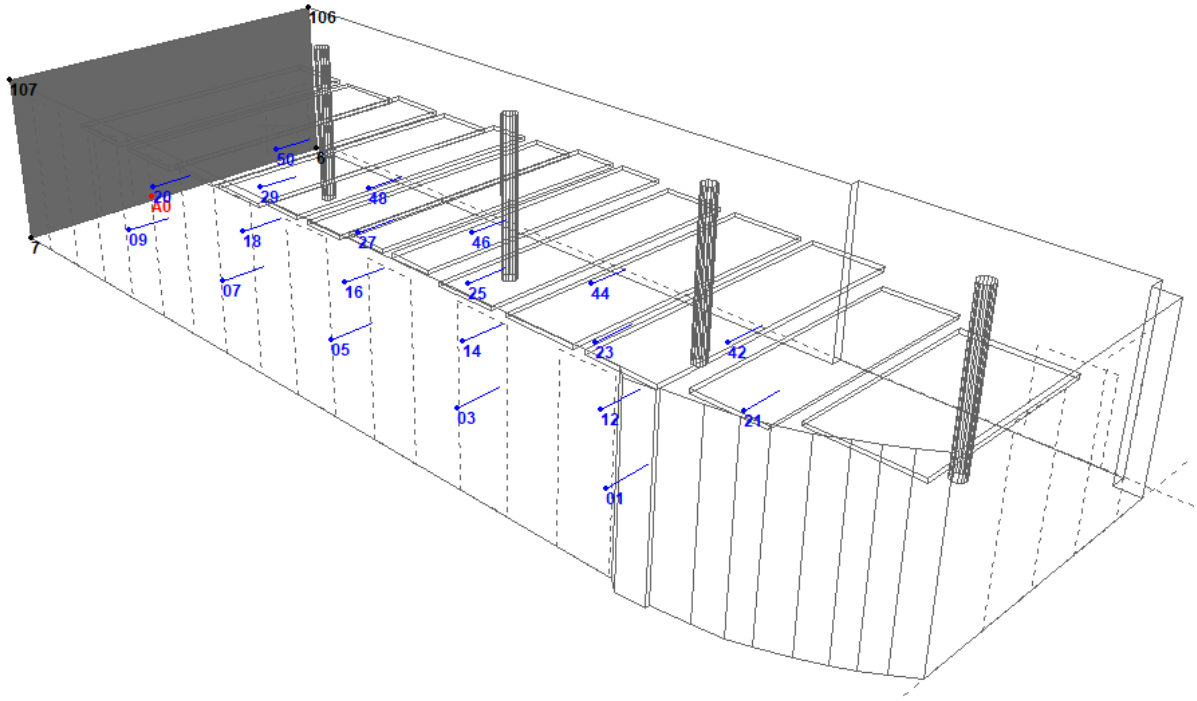


Widok na materiał akustyczny na ścianie przedniej

Całą powierzchnię ściany z oknami- oznaczoną kolorem zielonym - należy wykonać z wolno wiszącej grubo drapowanej kotary około 0,4 kg/m2 układanej w fałdy lub marszczonej > 1:3 w odległości do 200 mm przed twardą powierzchnią. Współczynniki pochłaniania dźwięku na poziomie nie wyższym niż podane poniżej:

Proponowany materiał	cwk	**Kotary drapowane**				
f [Hz]	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
α (±10%)	0,10	0,40	0,70	0,90	0,95	0,99

Jakakolwiek inna zmiana materiału jest możliwa po przedstawieniu osiągniętych i potwierdzonych w niezależnym laboratorium pomiarowym współczynników pochłaniania dźwięku i otrzymaniu akceptacji przez naszą pracownię.



Widok na materiał akustyczny na ścianie tylnej

Całą powierzchnię ścienną tylną z drzwiami Sali konferencyjnej - oznaczoną kolorem ciemno szarym - należy wykonać z ustrojów płyt typu mdf o grubości od 15 do 19 mm mikro perforowanych z flizeliną i wypełnieniem wewnątrz wełną mineralną. Współczynniki pochłaniania dźwięku na poziomie nie wyższym niż podane poniżej:

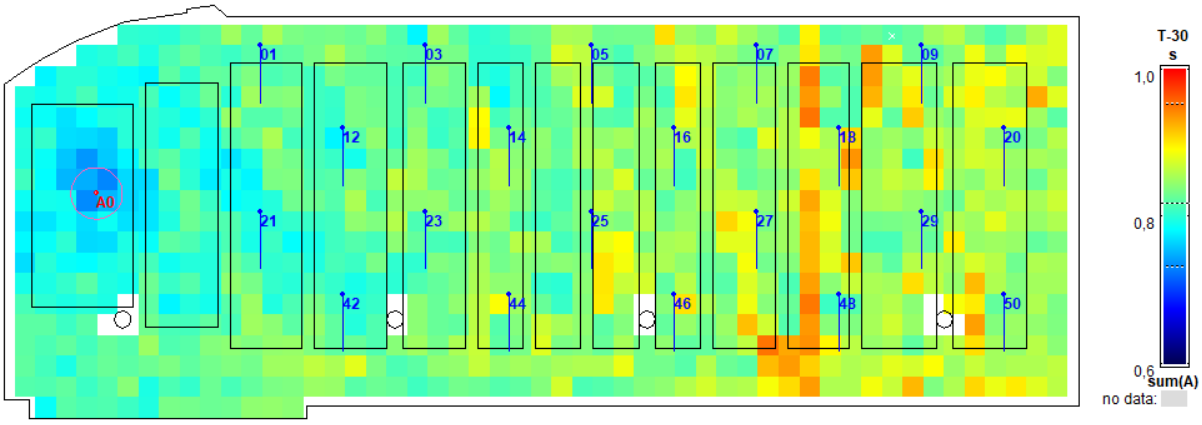
Proponowany materiał	cwk	**Płyta sufitowa akustyczna**				
Konstrukcja	całkowita wysokość konstrukcyjna ustroju min 200 mm	~płyta mdf mikro perforowana fi 1,2 mm w rozstawie co 4 mm pokrycie powierzchni 7,07%. ~konstrukcja drewniana zabezpieczona ppoż. ~ wełna mineralna gr 180 mm, ~ pustka powietrzna 20 mm, ~ uchwyty ~istniejący strop żelbetowy				
f [Hz]	**125**	**250**	**500**	**1000**	**2000**	**4000**
α (±10%)	0,90	0,90	0,85	0,75	0,55	0,45

Jakakolwiek inna zmiana materiału jest możliwa po przedstawieniu osiągniętych i potwierdzonych w niezależnym laboratorium pomiarowym współczynników pochłaniania dźwięku i otrzymaniu akceptacji przez naszą pracownię.

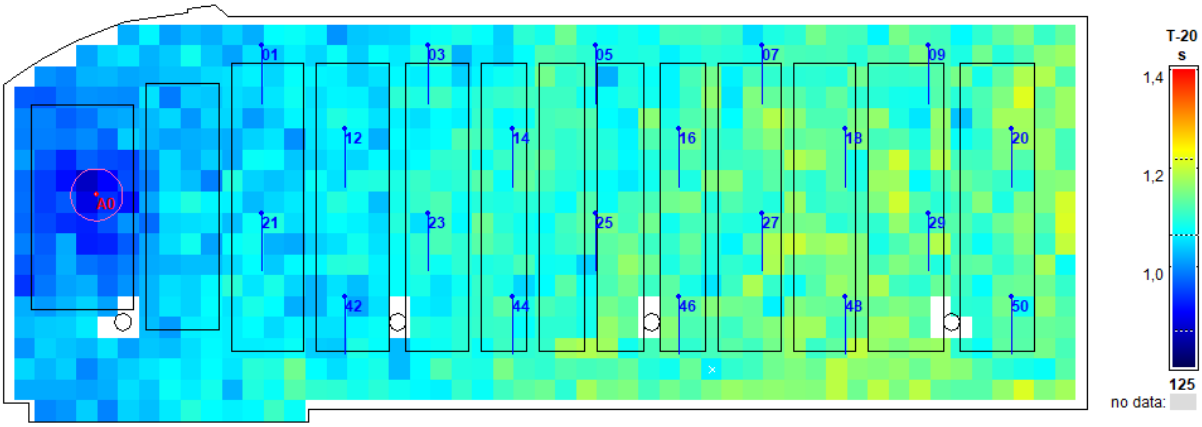
domagało wnuk architekci

93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl

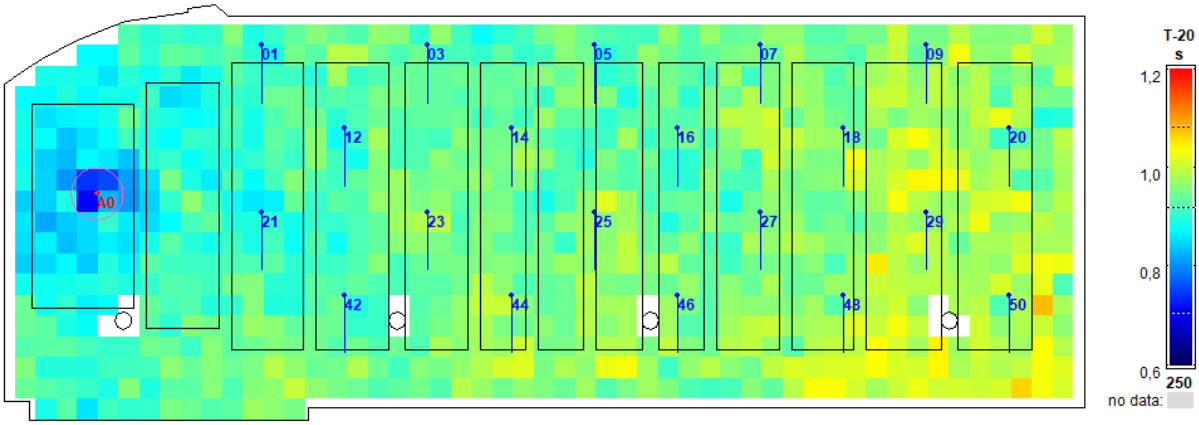
Wyniki symulacji sali konferencyjnej



Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



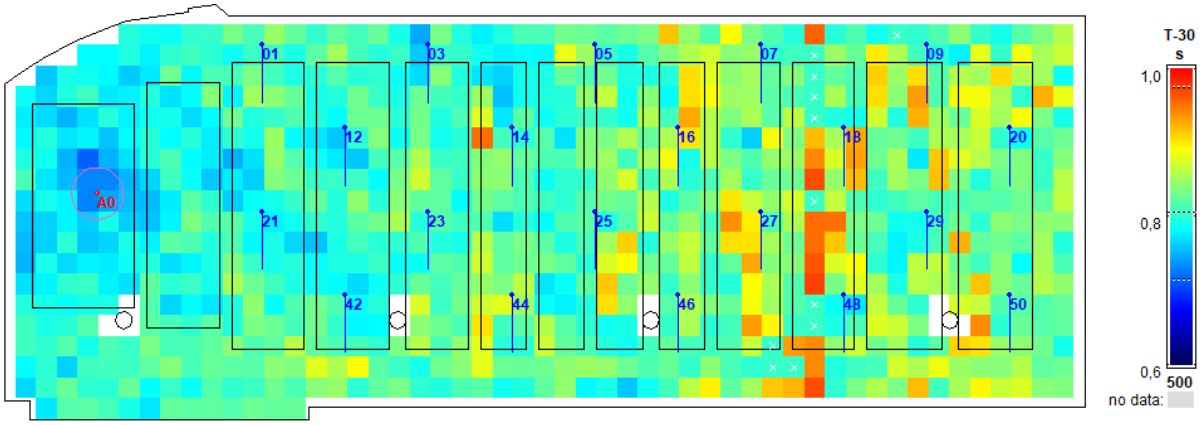
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



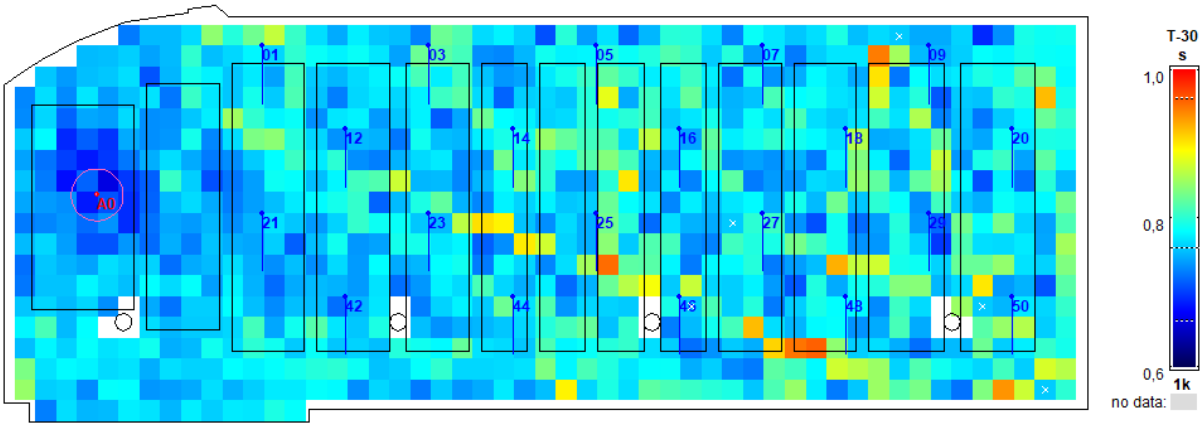
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni

domagało wnuk architekci

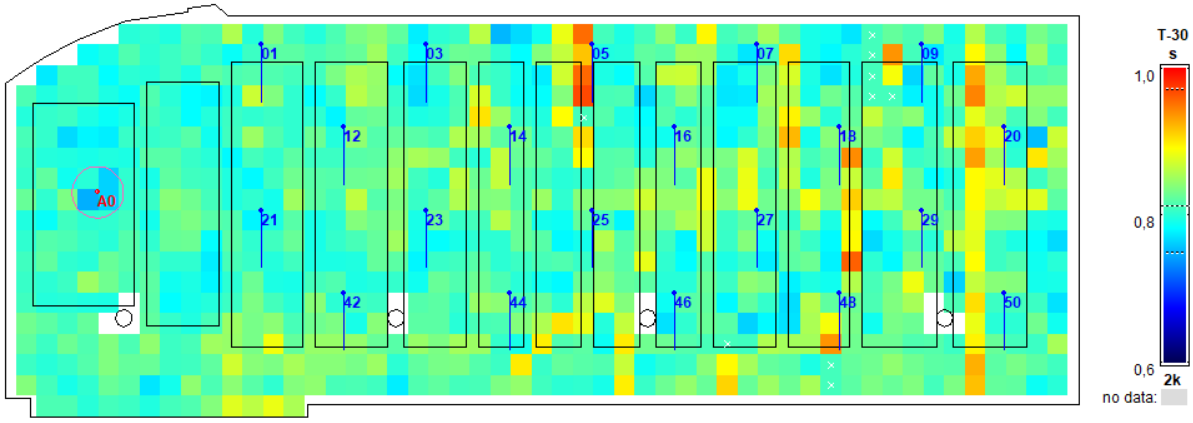
93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl



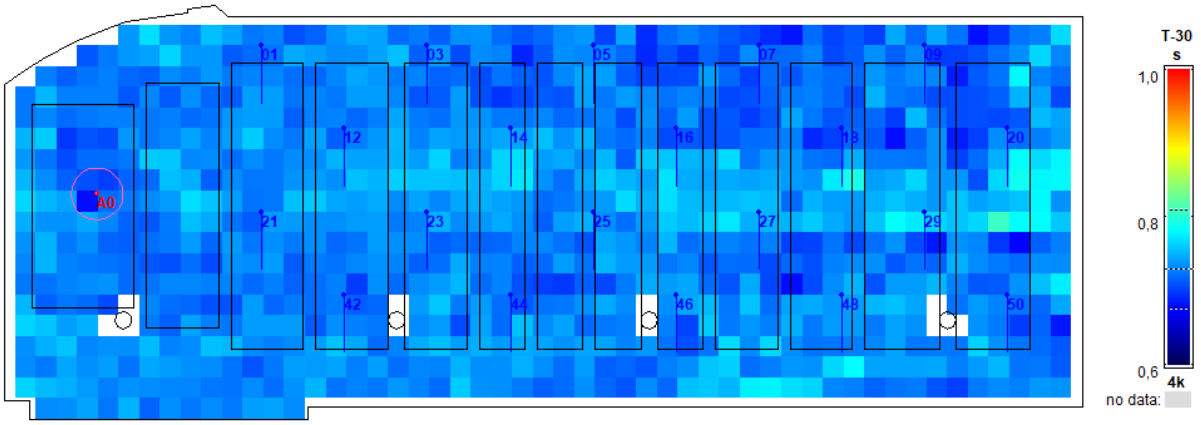
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



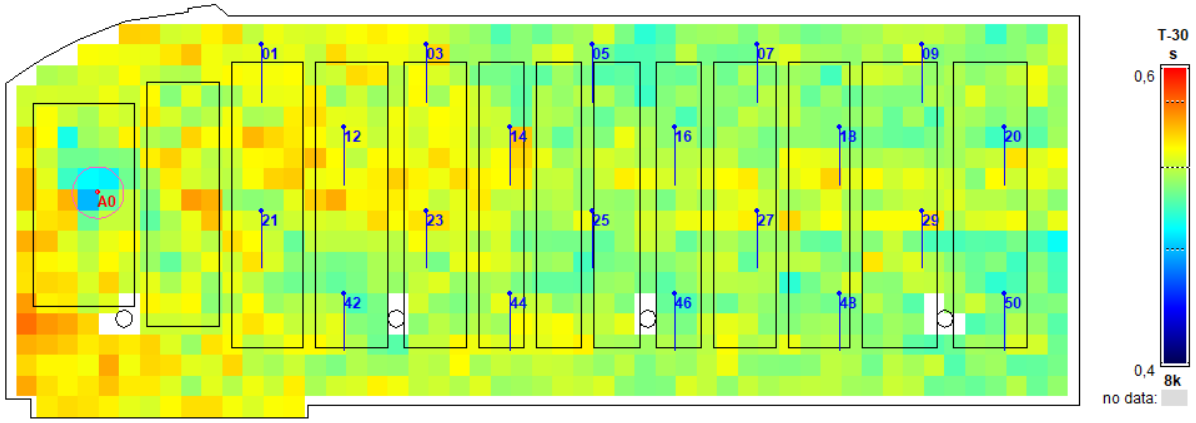
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



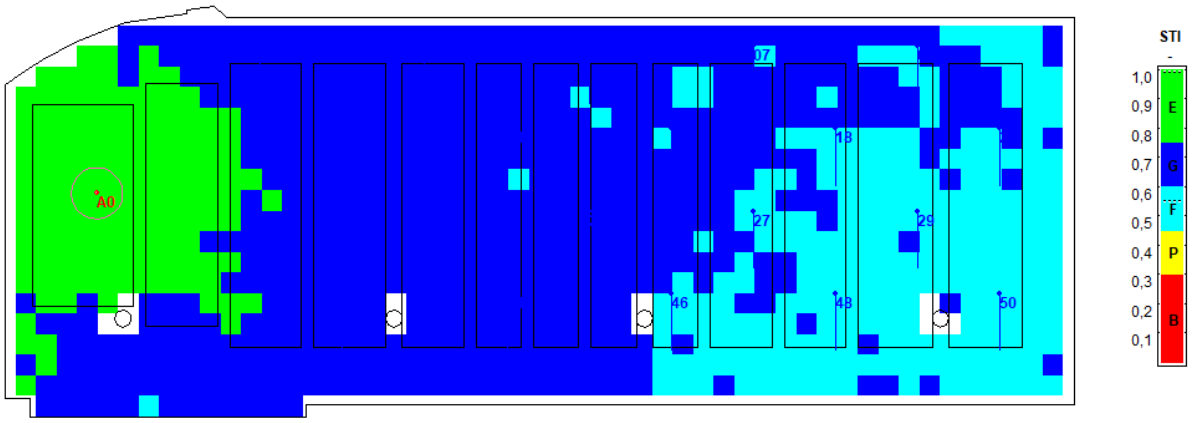
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



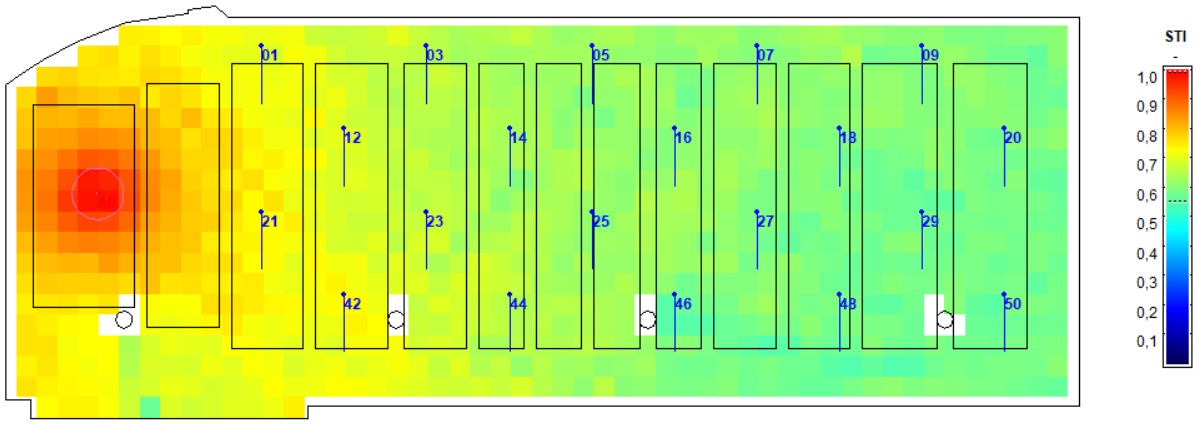
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



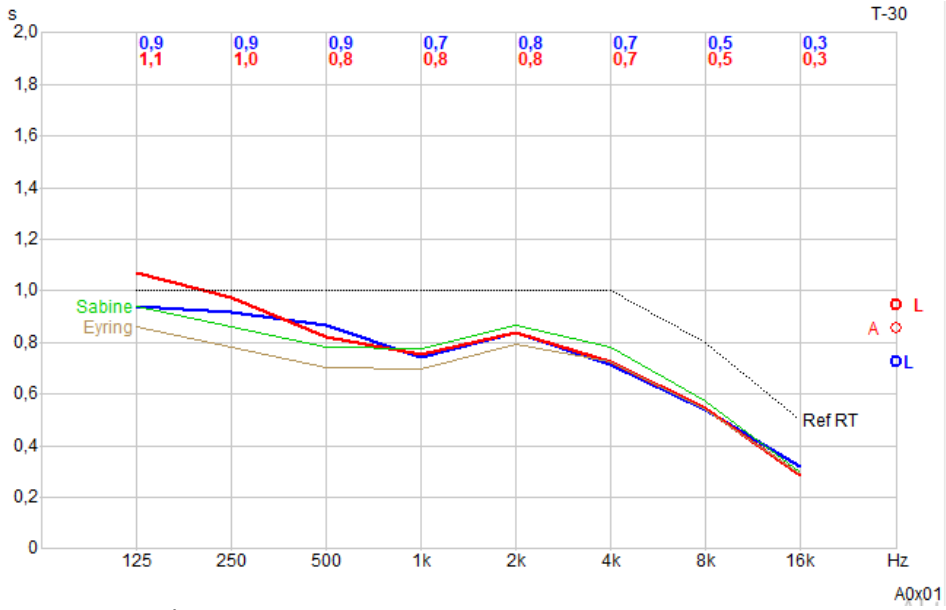
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



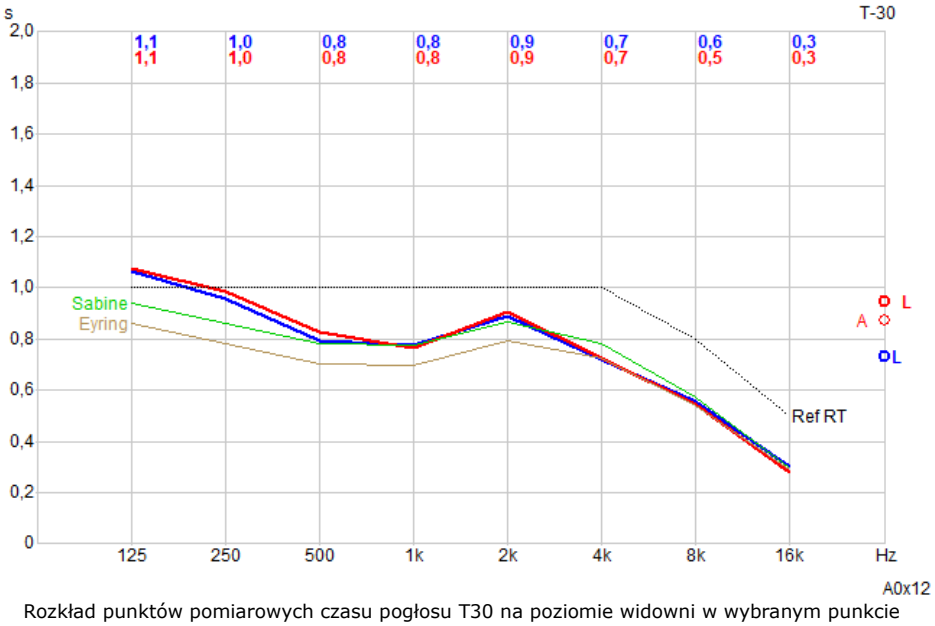
Rozkład punktów pomiarowych wskaźnika zrozumiałości mowy na poziomie widowni



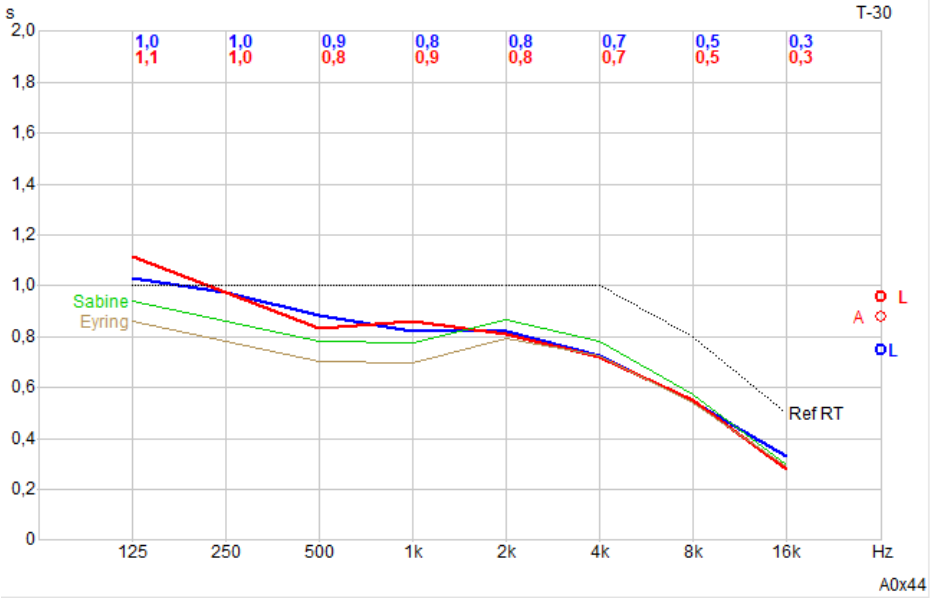
Rozkład punktów pomiarowych wskaźnika zrozumiałości mowy na poziomie widowni



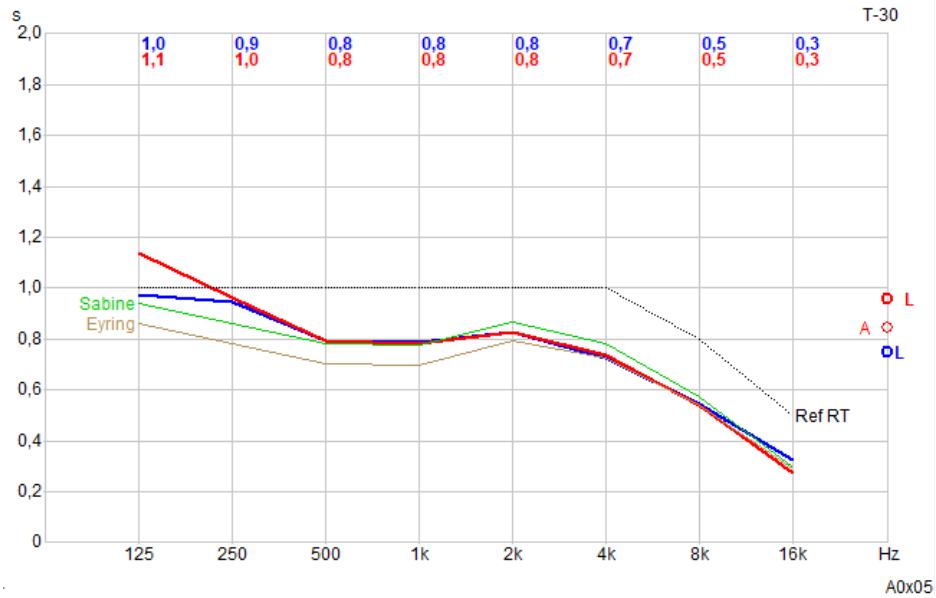
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni w wybranym punkcie



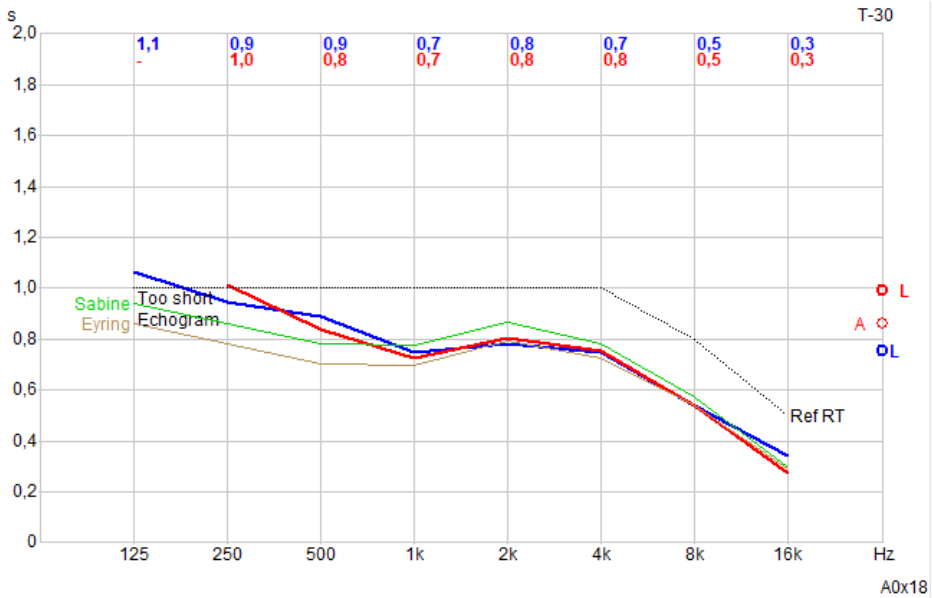
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni w wybranym punkcie



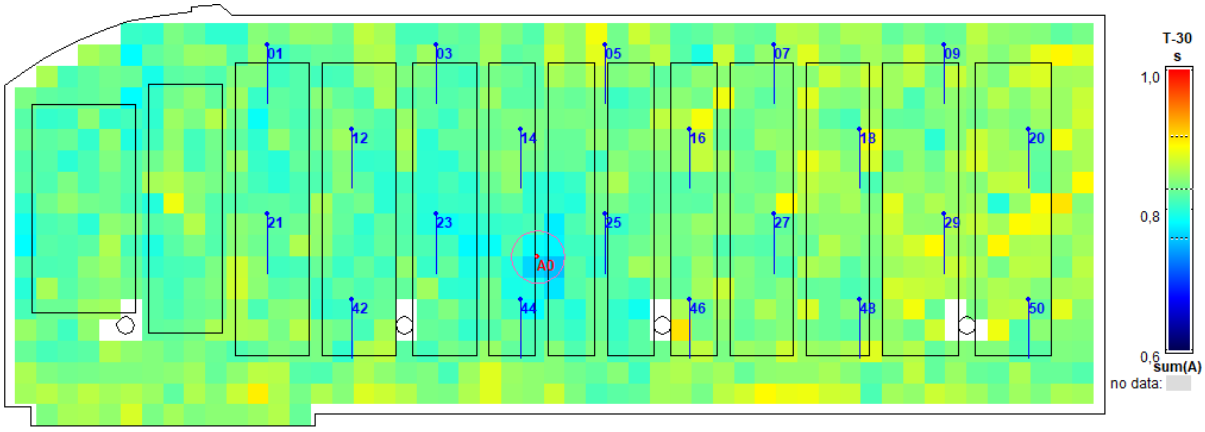
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni w wybranym punkcie



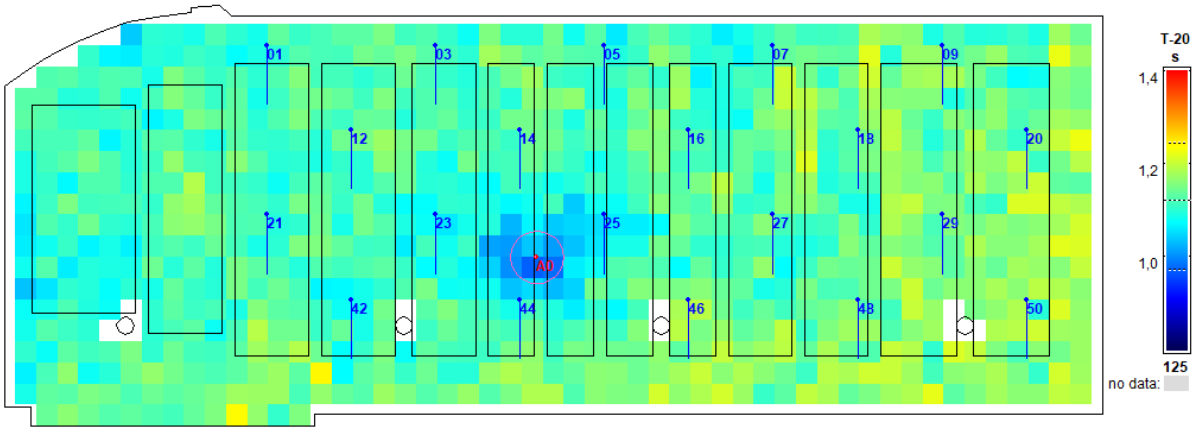
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni w wybranym punkcie



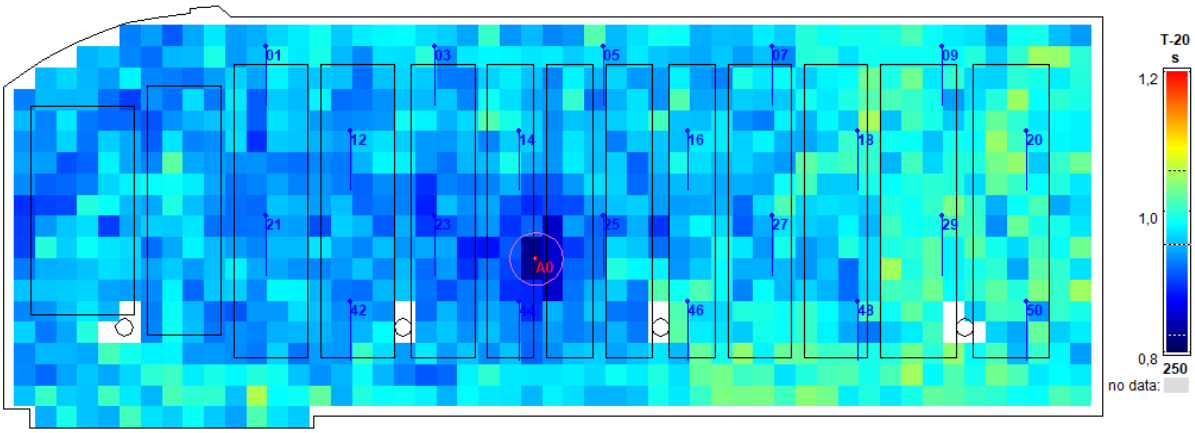
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni w wybranym punkcie



Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



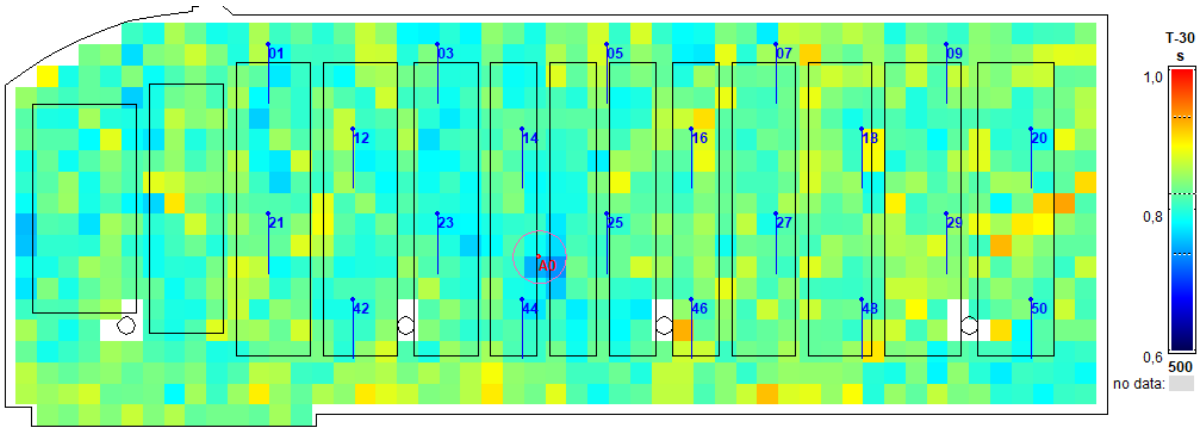
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



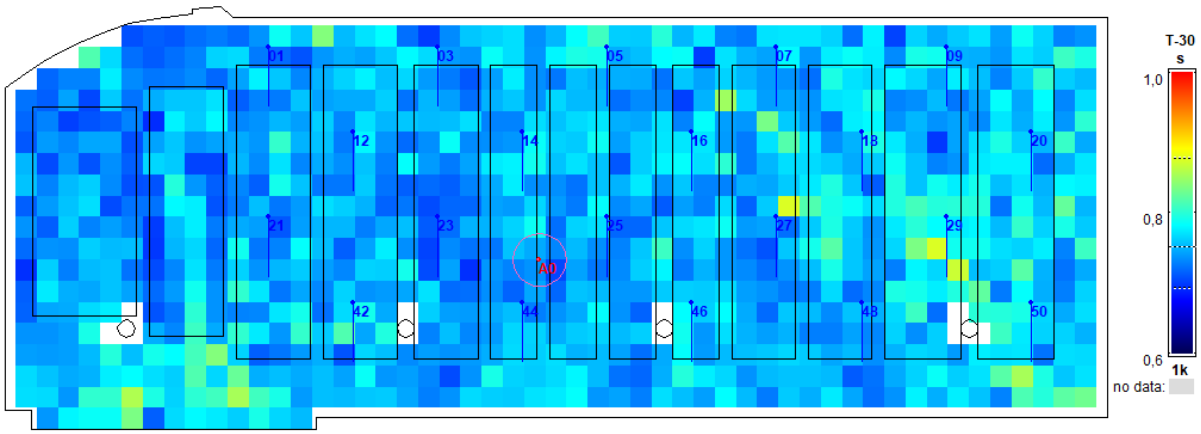
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni

domagało wnuk architekci

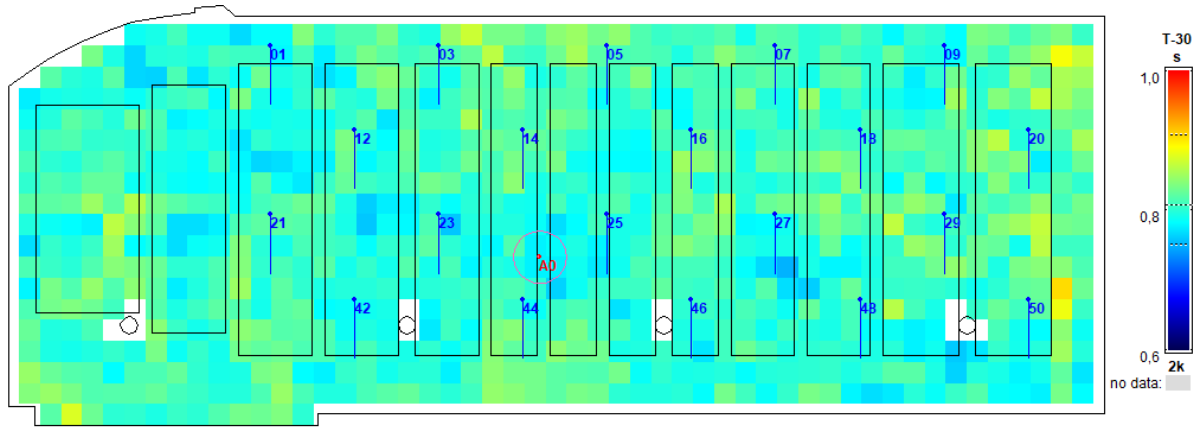
93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl



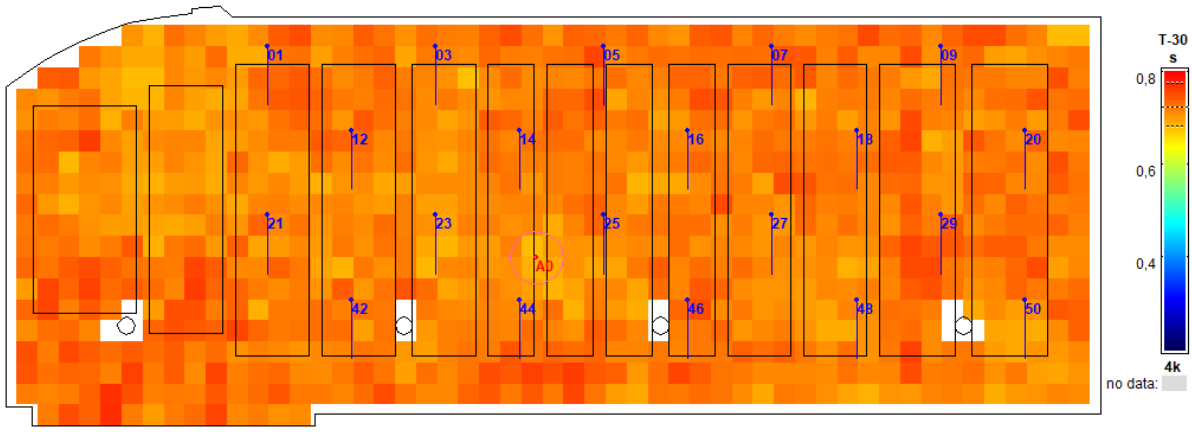
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



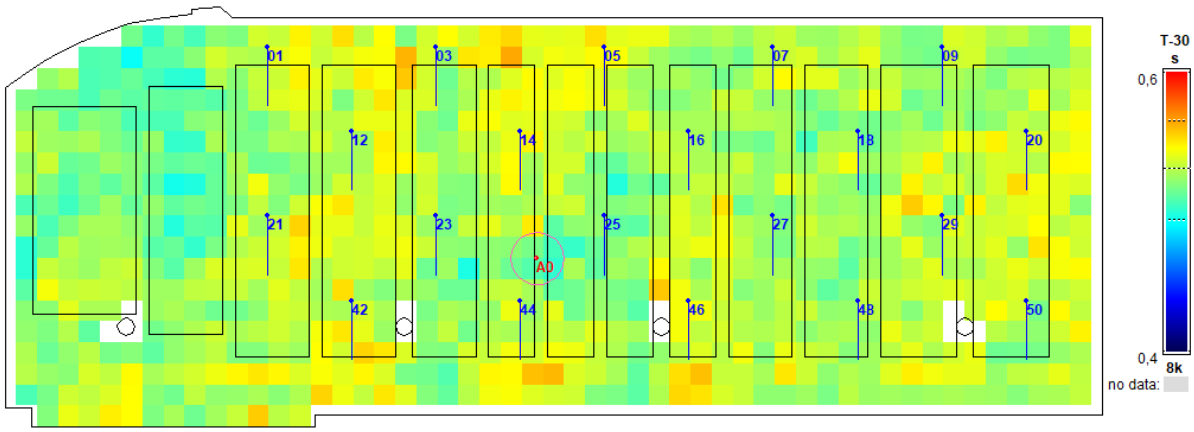
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



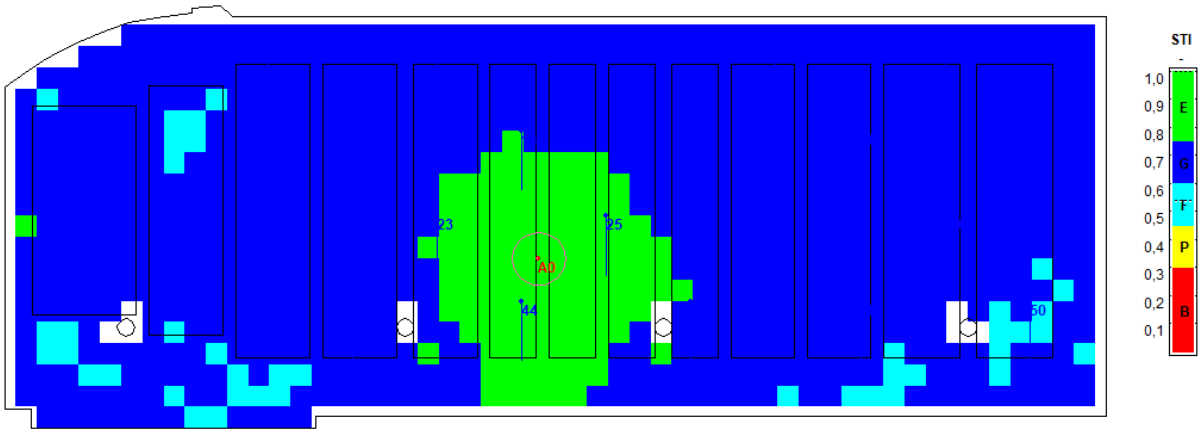
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



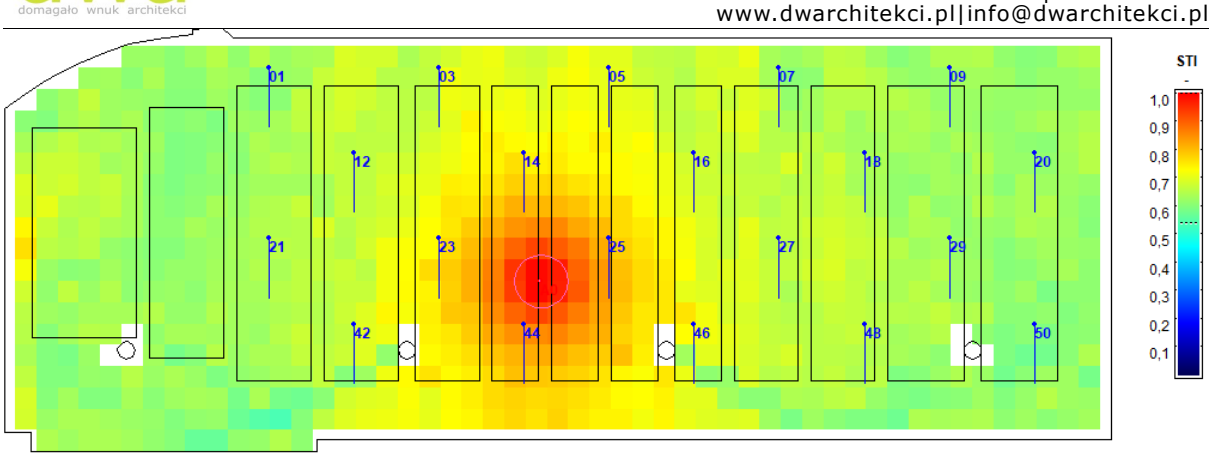
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



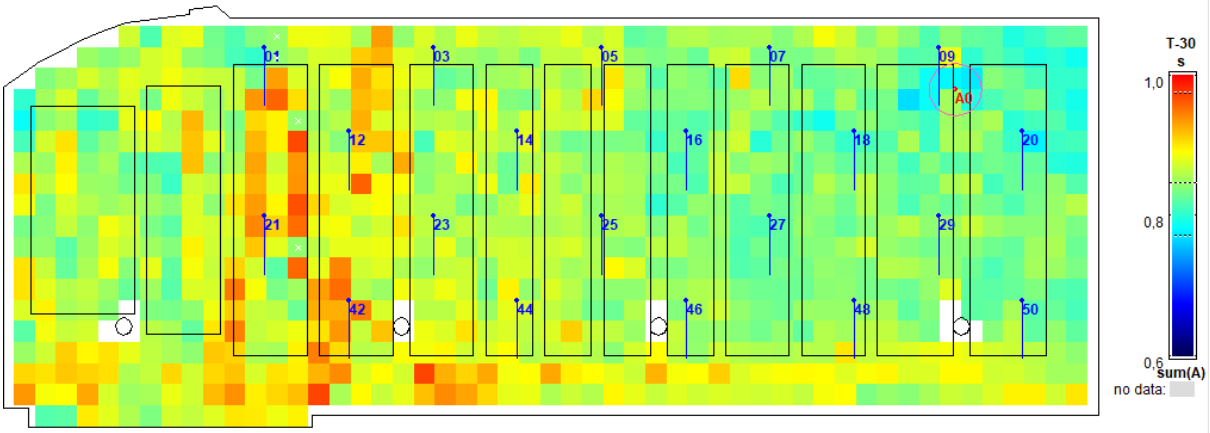
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



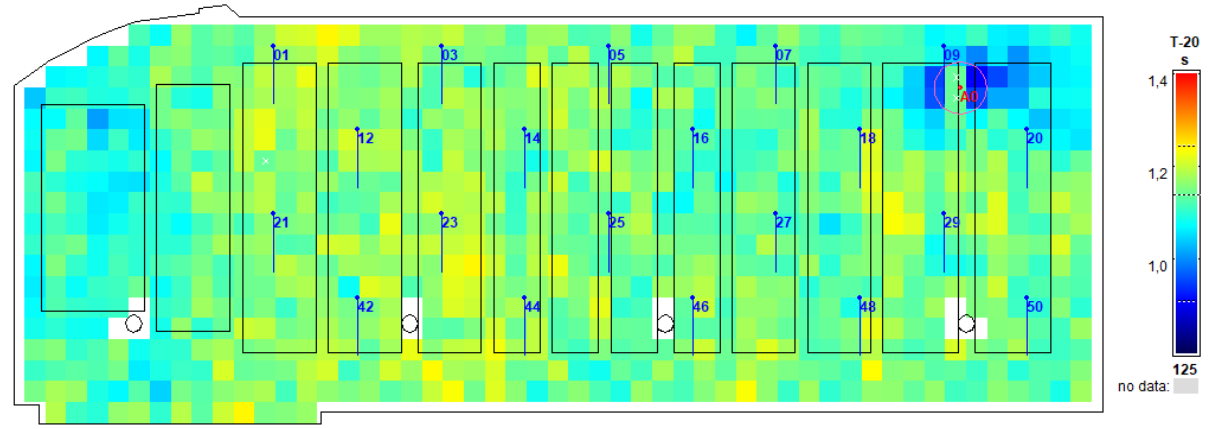
Rozkład punktów pomiarowych wskaźnika zrozumiałości mowy na poziomie widowni



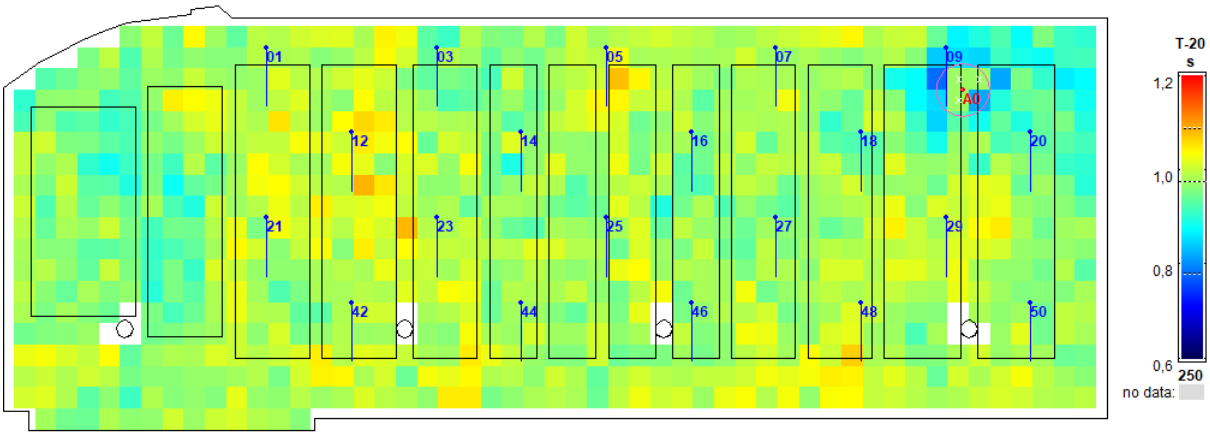
Rozkład punktów pomiarowych wskaźnika zrozumiałości mowy na poziomie widowni



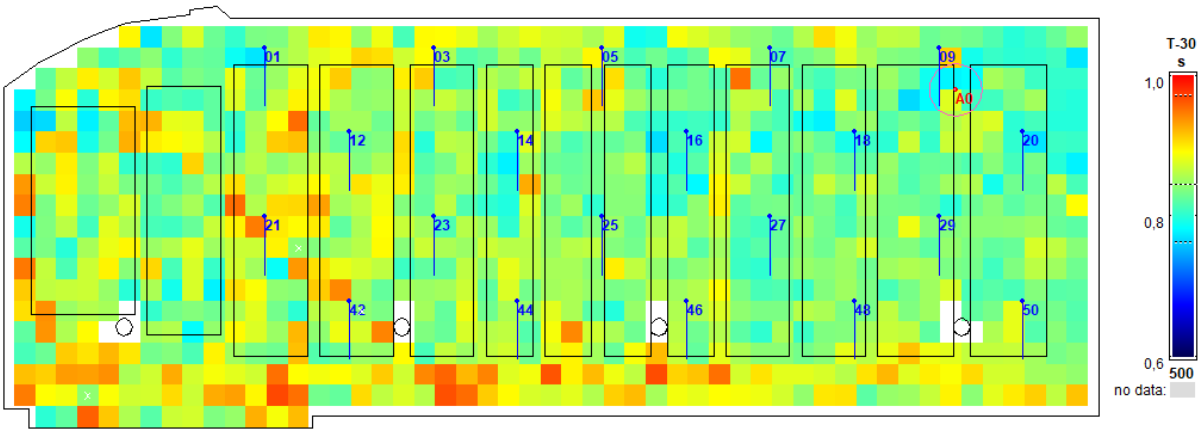
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



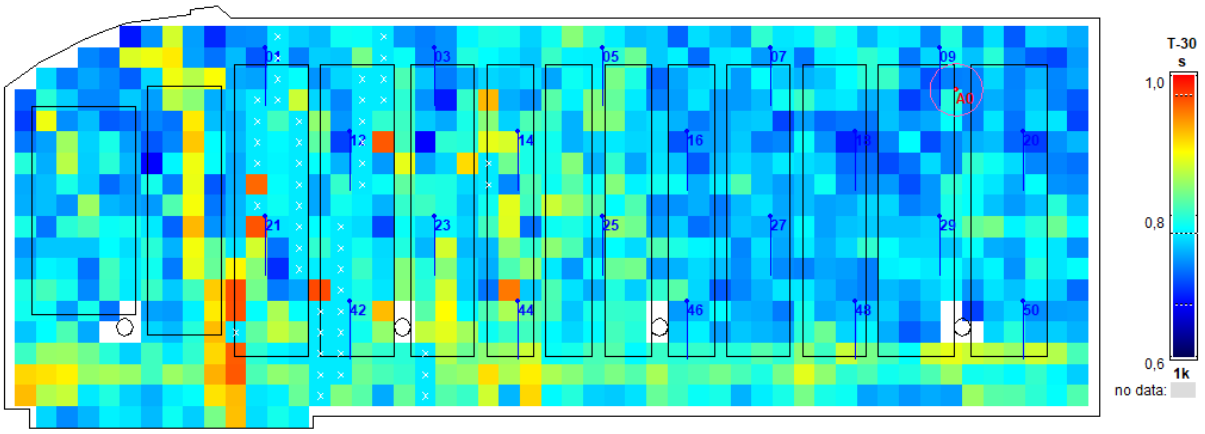
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



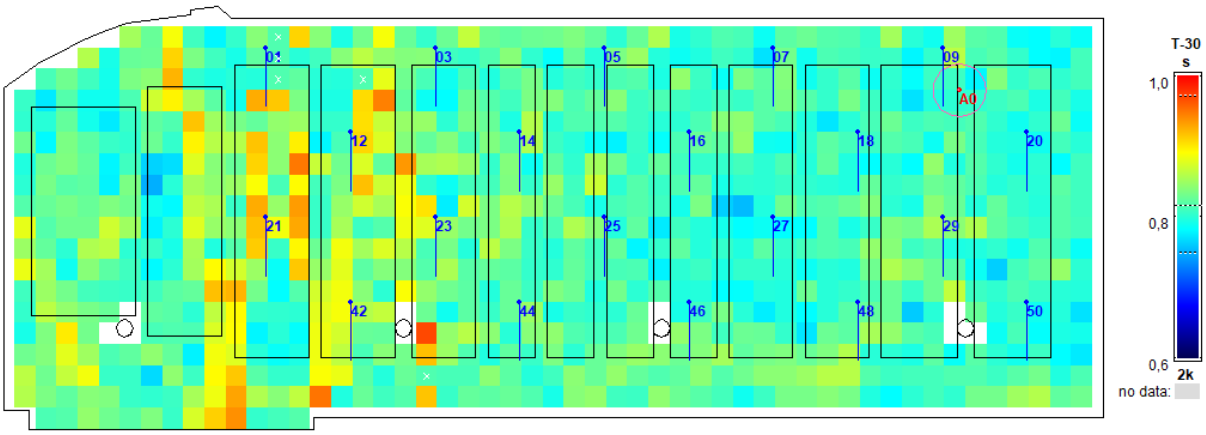
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



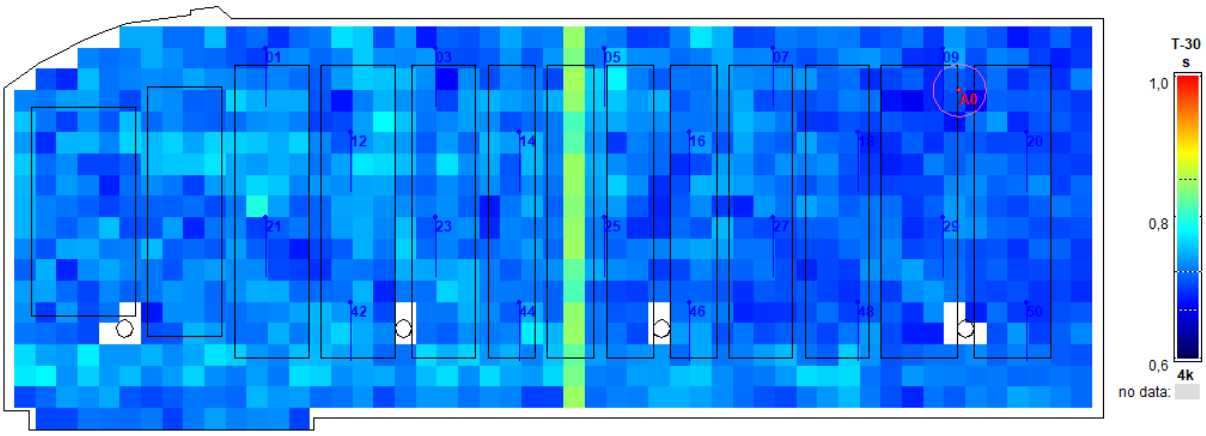
Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni

domagało wnuk architekci

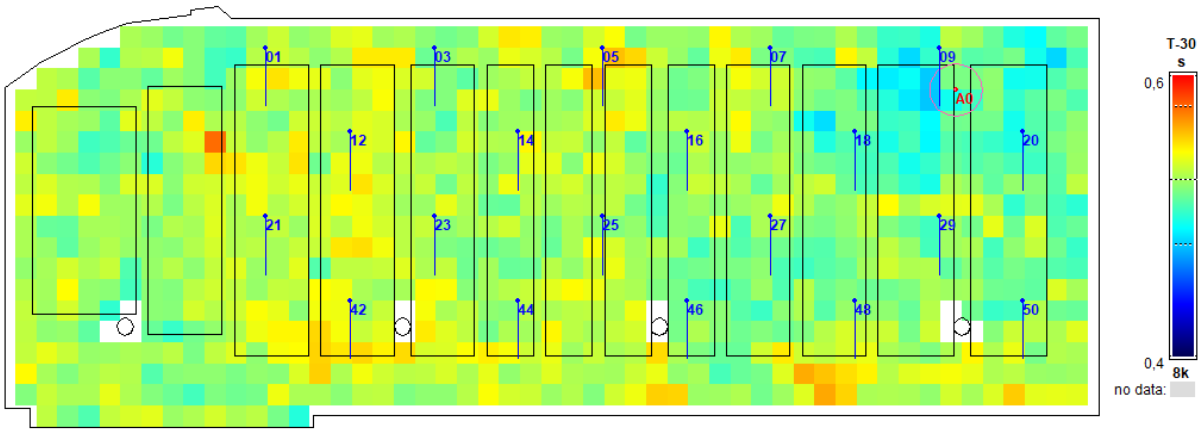
93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl



Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni



Rozkład punktów pomiarowych czasu pogłosu T30 na poziomie widowni

domagało wnuk architekci

93-524 Łódź | ul. Jarosławska 16
tel. 42 23 66 313 | 660 898 121
www.dwarchitekci.pl|info@dwarchitekci.pl

PODSUMOWANIE

Przedstawione wartości są szacunkowe – oparte na obliczeniach matematycznych, wykonane na podstawie dostępnych kart katalogowych produktów.

Dla Sali konferencyjnej zachodzi konieczność zastosowania dodatkowego wzmocnienia elektroakustycznego głośnikami.

Przedstawione wyniki symulacji wykazują polepszenie warunków akustycznych przy założeniu zastosowania materiałów opisanych w niniejszym opracowaniu.

Przedstawione wartości mogą odbiegać od stanu rzeczywistego. Wynika to z faktu:

- występowania rozbieżności pomiędzy danymi deklarowanymi przez producentów, a stanem faktycznym,
- z różnicy pomiędzy powierzchnią rzeczywistą, a powierzchnią badanej próbki w laboratorium,
- dokładności wykonania i stosowania zaleceń producentów danego systemu lub rozwiązania,
- elementów wyposażenia wnętrza,
- elementów których nie sposób ująć w modelu geometrycznym.

Zastosowanie innych rozwiązań w stosunku do analizowanych w opracowaniu, może mieć istotny wpływ na końcowe wyniki obliczeń.

Niniejsze opracowanie zawiera łącznie 25 stron i należy je rozpatrywać w całości. Opracowanie wykonano w dwóch jednobrzmiących egzemplarzach z czego 1 egzemplarz drogę elektroniczną przekazano Zamawiającemu.