

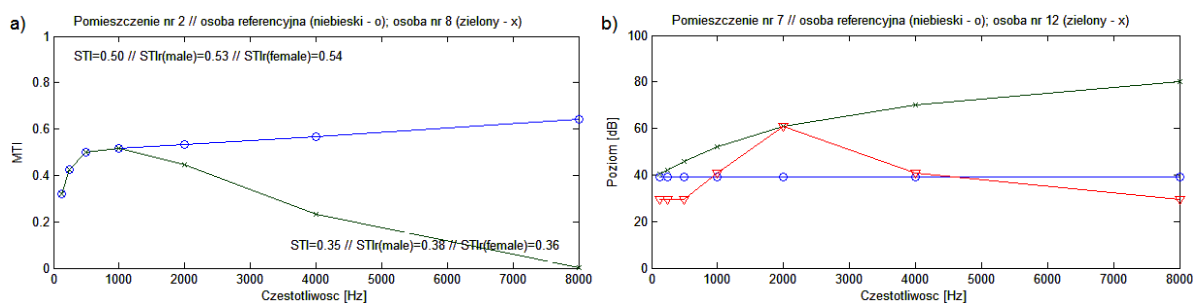
## **Materiały informacyjne dotyczące wyników projektu**

W środowisku pracy człowiek znajduje się stale pod wpływem różnorodnych bodźców akustycznych. Część z nich stanowi istotne źródło informacji niezbędnych do wykonywania pracy, część to hałas przeszkadzający w pracy, czy wręcz szkodliwie oddziałujący na organizm człowieka. Zmysłem umożliwiającym pozyskiwanie informacji z bodźców akustycznych jest słuch. Zagadnienia akustyczne w procesie projektowania pomieszczeń pracy analizowane są najczęściej pod kątem ograniczania zagrożenia hałasem w środowisku pracy. Takie podejście jest jednak niewystarczające w przypadku pracowników z dysfunkcją wzroku lub słuchu. Dla tych grup społecznych warunki akustyczne panujące w pomieszczeniach stanowią element środowiska pracy znacznie ważniejszy niż dla osób ze słuchem i wzrokiem normalnym. W przypadku pracowników niedosłyszących niższa percepcja sygnałów dźwiękowych wynikająca z ubytku słuchu powoduje, że zapewnienie odpowiedniej zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów dźwiękowych wymaga specyficznych warunków akustycznych.

**Celem projektu było określenie wymagań odnośnie akustyki pomieszczeń pracy w aspekcie zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niedowidzących oraz opracowanie zaleceń, które pozwoliłyby na spełnienie tych wymagań.**

W ramach realizacji pracy opracowano metodykę badawczą dotyczącą określania zrozumiałości mowy i orientacji przestrzennej w odniesieniu do osób z dysfunkcją słuchu lub wzroku umożliwiającą osiągnięcie założonego w pracy celu badawczego. Zaproponowana metodyka umożliwia konfrontację badań symulacyjnych z pomiarami laboratoryjnymi. Łączy ponadto badania obiektywne, określania wskaźnika STI, z badaniami subiektywnymi zrozumiałości mowy umożliwiając uwzględnienie specyficznych wymagań osób z dysfunkcją słuchu lub wzroku. W ramach realizacji projektu opracowano także modele pomieszczeń pracy, przeprowadzono walidację tych modeli oraz przeprowadzono badania symulacyjne dotyczące akustyki pomieszczeń pracy w zakresie zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych. Modelowanie pomieszczeń pracy przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu programów CARA.

## Modelowanie parametrów akustycznych pomieszczeń pracy pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych



**Rysunek 1. Wyniki badań symulacyjnych a - zrozumiałości mowy, b - percepcji sygnału akustycznego**

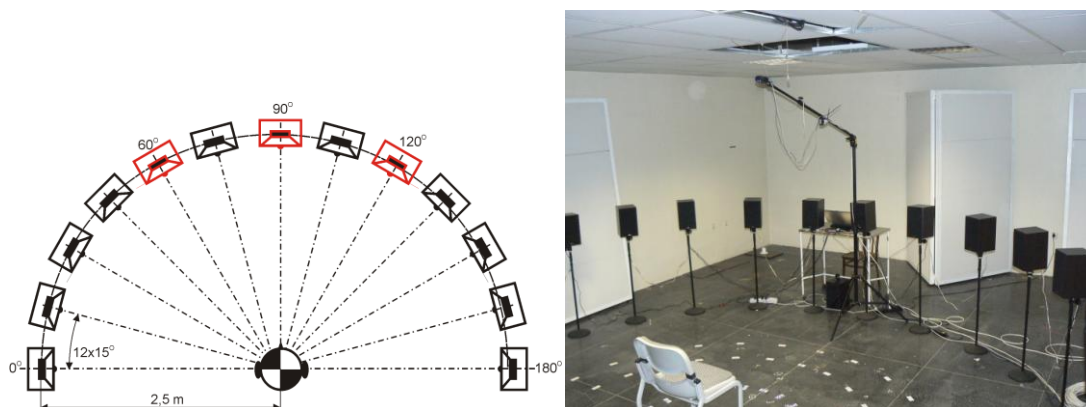
Na podstawie danych akustycznych wyznaczonych dla modelowanych pomieszczeń za pomocą programu CARA dokonano oszacowania poziomu zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych pod kątem osób niedosłyszących i niewidomych. Przeprowadzono w tym celu badania symulacyjne z zastosowaniem pakietu obliczeniowego Matlab. W ich trakcie badano wpływ parametrów akustycznych pomieszczenia na jakość toru akustycznego źródło-słuchacz. Badania symulacyjne przeprowadzono dla każdego z modeli pomieszczeń pracy. Ocenę zrozumiałości mowy w modelowanych pomieszczeniach przeprowadzono z wykorzystaniem metody szacowania wskaźnika transmisji mowy (STI) opisanej w normie PN-EN 60268-16: 2005 „Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy” oraz opracowanej w ramach realizacji projektu zmodyfikowanej wersji tej metody pozwalającej na uwzględnienie podwyższenia progów słyszenia (Rysunek 1a). W oparciu o metodę doboru poziomu ciśnienia akustycznego opisanej w normie PN-EN ISO 7731 „Ergonomia - Sygnały bezpieczeństwa dla obszarów publicznych i obszarów pracy - Dźwiękowe sygnały bezpieczeństwa” opracowano metodę wyznaczenia minimalnego poziomu ciśnienia akustycznego sygnału w pasmach oktawowych umożliwiającego poprawną percepcję sygnału, również z uwzględnieniem osób z dysfunkcją narządu słuchu. (Rysunek 1b).

Na podstawie wyników przeprowadzonych badań opracowano i wykonano stanowisko badawcze do subiektywnych badań kierunkowości słyszenia i zrozumiałości mowy. W pomieszczeniu laboratoryjnym wykonano 5 adaptacji akustycznych, które odwzorowywały pomieszczenia pracy o różnych warunkach akustycznych. Równocześnie adaptacje te wykonano w postaci modeli symulacyjnych opracowanych w programie do obliczeń akustycznych CARA. Adaptacje akustyczne w pomieszczeniu laboratoryjnym zrealizowano w postaci przesuwanych paneli dźwiękochłonnych ustawianych w różnych miejscach pomieszczenia laboratoryjnego umożliwiających szybką zmianę adaptacji akustycznej. Warunek szybkiej zmiany adaptacji akustycznej był niezbędny, ponieważ jednym z założeń

## Modelowanie parametrów akustycznych pomieszczeń pracy pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych

dotyczących prowadzenia badań było ograniczenie czasu eksperymentu z udziałem słuchacza do 60 minut. Modele pomieszczeń z adaptacjami akustycznymi podzielono na dwie grupy różniące się czasem pogłosu. Pierwsza grupa to pomieszczenia w których czas pogłosu powyżej częstotliwości 500 Hz jest stały i wynosi ok. 0,25 s. Poniżej częstotliwości 500 Hz czas pogłosu stopniowo rośnie osiągając wartości 0,35 dla 250 Hz, 0,5 dla 125 Hz i 0,7 dla 63 Hz. Do drugiej grupy pomieszczeń zakwalifikowano pomieszczenia charakteryzujące się nieco wyższym czasem pogłosu, wynoszącym powyżej 250 Hz ok. 0,4 s oraz 0,75 dla 125 Hz.

W pomieszczeniu laboratoryjnym umieszczono stanowisko badawcze złożone z przenośnego komputera z zainstalowanym oprogramowaniem Matlab R2010b, podłączonym przez port USB do dwóch ośmiowyjściowych kart dźwiękowych ESI Gigaport HD oraz zestawu 13 źródeł dźwięku. Źródła te rozstawiono co  $15^\circ$  na półokręgu o promieniu 2,5m, w środku którego znajdowała się badana osoba (Rysunek 2). Pierwsza wersja stanowiska laboratoryjnego opracowana w początkowych etapach pracy posiadała 5 źródeł sygnału. Zwiększenie ilości źródeł pozwoliło zbadać kierunkowość słyszenia z większą dokładnością i ograniczyło możliwość odgadywania kierunku dochodzenia dźwięku na podstawie informacji wizualnej u osób widzących.



**Rysunek 2. Układ źródeł dźwięku i widok stanowiska laboratoryjnego.**

Badania laboratoryjne przeprowadzono z udziałem grupy słuchaczy, w której były osoby niewidome, niedosłyszące i osoby bez dysfunkcji wzroku i słuchu. Na badania otrzymano zgodę komisji etyki. Grupa badawcza liczyła 22 osoby, w której było 16 osób niewidomych, 3 osoby niedosłyszące i 3 osoby bez dysfunkcji słuchu lub wzroku. Zgodnie z przyjętym wcześniej założeniem osoby niewidome nie posiadały widzenia resztkowego, a część z nich miała mieć poczucie światła. Grupy tej nie różnicowano ze względu na czas utraty wzroku. Na podstawie wywiadu przeprowadzonego z niewidomymi określono natomiast stopień

## **Modelowanie parametrów akustycznych pomieszczeń pracy pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych**

samodzielności oraz fakt uczenia się orientacji przestrzennej. W przypadku osób niedosłyszących dolną granicą kwalifikującą słuchaczy z dysfunkcją słuchu do grupy było nie przekroczenie kryteriów stosowanych przy wyznaczaniu obustronnego trwałego ubytku słuchu typu ślimakowego spowodowanego hałasem, czyli w świetle przepisów prawa słuchacz był osobą słyszącą. Górną granicą kwalifikującą słuchaczy z dysfunkcją słuchu do grupy było osiągnięcie w teście słownym bez maskowania szumem wartości wskaźnika określającego procentową zrozumiałość mowy (WM) poniżej 90 %. Dodatkowym kryterium kwalifikacji słuchaczy niedosłyszących było fakt nie korzystania z aparatów słuchowych przez słuchaczy. Osoby bez dysfunkcji narządu wzroku i słuchu widziały stanowisko laboratoryjne oraz w teście słownym bez maskowania szumem osiągnęły wartości wskaźnika określającego procentową zrozumiałość mowy (WM) powyżej 90 %.

Dla każdego słuchacza badania laboratoryjne rozpoczynano od wykonania badań audiometrycznych progu słyszenia według normy PN-EN 26189: 2000 „Akustyka -- Pomiar progu słyszenia tonów w przewodnictwie powietrznym na potrzeby ochrony słuchu”. Dla celów niniejszej pracy, jako wybrano metodę subiektywną z zastosowaniem metody Hughson-Westlake'a, w której sygnałem testowym jest automatycznie generowany ton o określonej częstotliwości i poziomie w skokach 5-cio dB.

Badania właściwe podzielono na dwie części: pierwsza dotyczyła badania kierunkowości słyszenia, a druga zrozumiałości mowy. W trakcie badania, dotyczącego kierunkowości słyszenia, zadaniem słuchacza było wskazanie ręką kierunku, z którego jego zdaniem emitowany był sygnał akustyczny. Osoba nadzorująca badanie za pomocą zainstalowanej nad słuchaczem kamery odczytywała wskazanie i zapisywała odpowiedź karcie odpowiedzi.

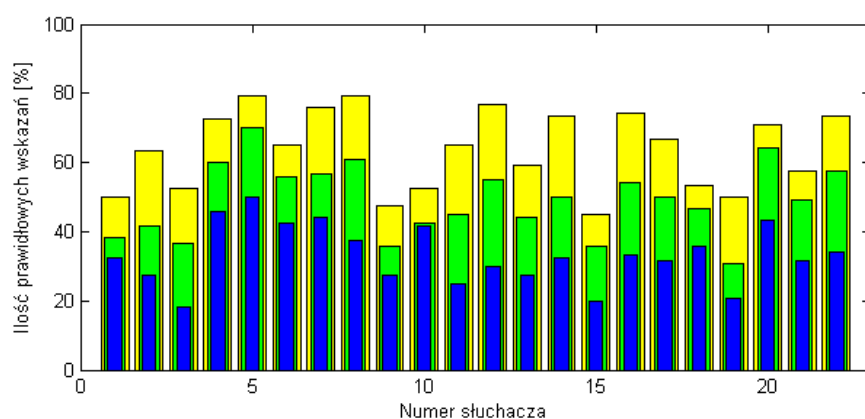


**Rysunek 1 Widok z kamery podczas badania kierunkowości**

## Modelowanie parametrów akustycznych pomieszczeń pracy pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych

Podczas eksperymentu emitowano 3 rodzaje sygnałów dźwiękowych w pięciosekundowych odcinkach, losowo z ośmiu różnych kierunków. W sumie emitowano 24 sygnały cząstkowe. Taki zestaw sygnałów nazwano sygnałem testowym, a pięciosekundowe odcinki jednego rodzaju sygnału sygnałami cząstkowym. Czas generacji sygnału testowego wynosił 2 minuty. Sygnał testowy składał się z trzech rodzajów sygnałów cząstkowych: tonalny o częstotliwości 1500 Hz, tonalny modulowany amplitudowo o częstotliwości 1000 Hz oraz tonalny modulowany częstotliwościowo o częstotliwościach zmieniających się w zakresie od 500 do 1000 Hz. Ich emisji towarzyszył sygnał maskujący w postaci szumu pseudolosowego, który utrudniał określenie dokładnego kierunku. Do emisji sygnału testowego wykorzystywano jedno z ośmiu źródeł wybranych z trzynastu znajdujących się w stanowisku badawczym.

Podczas badań dotyczących subiektywnej percepcji kierunkowości sygnałów akustycznych wyznaczono wskaźnik określający procent prawidłowo zlokalizowanych położenia źródła dźwięku podczas eksperymentu (WS) dla 3 wartości dozwolonego błędu wskazania. Na wykresie (Rysunek 3) kolorem niebieskim oznaczono wartości wskaźnika określającego procent prawidłowo zlokalizowanych położenia źródła dźwięku podczas eksperymentu, dla którego dopuszczany błąd wskazania wynosił  $0^\circ$ . Z kolei kolorem zielonym oznaczono wartości wskaźnika określanych z błędem równym  $15^\circ$  i kolorem żółtym dla wskaźnika z błędem równym  $30^\circ$ .



**Rysunek 3 Średnie wartości wskaźnika WS dla każdego ze słuchaczy**

Przeprowadzone badania wykazały, że najwyższe wartości wskaźnika WS otrzymywano dla kątów skrajnych  $0^\circ$  i  $150^\circ$ , a wraz ze zmianą kąta w kierunku kąta  $90^\circ$  sygnał był znacznie gorzej lokalizowany. Również należy zauważyć różnice wartości wskaźnika WS dla kątów par kątów  $0^\circ - 180^\circ$  i  $30^\circ - 150^\circ$ . Różnice te w zależności od analizowanego sygnału wahały się od 10 do 20 %. Różnice te należy tłumaczyć faktem różnej adaptacji akustycznej za

## **Modelowanie parametrów akustycznych pomieszczeń pracy pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomy**

źródłem sygnału dźwiękowego. Można, zatem przyjąć, że zwiększając współczynnik pochłaniania powierzchni za źródłem dźwięku zmniejszamy możliwość jego lokalizacji.

Badania zrozumiałości mowy polegały emisji testu słownego, który zawierał 20 słów. W teście tym zadaniem słuchacza było głośne powtórzenie usłyszanego wyrazu. Osoba nadzorująca badanie weryfikowała poprawność zrozumianego wyrazu i zapisywała odpowiedź karcie odpowiedzi. Test emitowany był dwukrotnie z tą samą głośnością o poziomie dźwięku korygowanego charakterystyką A ok. 50 dB z tym, że podczas drugiej emisji był on maskowany szumem o poziomie dźwięku A wynoszącym ok. 65 dB. Test słowny w obu przypadkach emitowany był z jednego źródła dźwięku umieszczonego na wprost słuchacza (90°), zaś sygnał maskujący emitowany był przez dwa źródła oznaczone kątami 60° i 120°. Do oceny zrozumiałości mowy wykorzystano wskaźnik WM określający procentową zrozumiałość mowy, który zdefiniowano się, jako iloraz liczby wyrazów prawidłowo zrozumianych przez słuchacza do liczby wszystkich wyrazów wyemitowanych podczas testu. Analizując wyniki badań można zauważyć znacznie mniejsze zróżnicowanie średnich wartości wskaźnika WM dla poszczególnych adaptacji akustycznych w przypadku grup z dysfunkcjami słuchu lub wzroku. Można przyjąć, że najgorszym rozwiązaniem, z punktu widzenia zrozumiałości mowy, jest zastosowanie w pomieszczeniu adaptacji polegającej na ustawieniu ekranów akustycznych w bliskiej odległości od pracownika. Natomiast bardzo dobre wyniki daje zastosowanie powierzchni odbijających za źródłem dźwięku.

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz opracowano wymagania dotyczące adaptacji akustycznych pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych w postaci zaleceń i wytycznych. Zalecenia zawierają informacje dotyczące analizy parametrów akustycznych istniejących pomieszczeń pracy pod kątem spełnienia wymagań w zakresie zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych. Umożliwiają one określenie rodzaju adaptacji i ich zastosowania w pomieszczeniach pracy. Wytyczne zawierają informacje niezbędne dla projektantów pomieszczeń pracy i adaptacji akustycznych do oszacowania zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych w projektowanych pomieszczeniach pracy uwzględnieniem dysfunkcji słuchu i wzroku. Opisane są nich narzędzia umożliwiające ocenę akustyczną projektowanych pomieszczeń pracy. Materiały informacyjne zawierają syntetyczny opis wyników zrealizowanej pracy.

## **Modelowanie parametrów akustycznych pomieszczeń pracy pod kątem zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomy**

Przedstawiono w nich zagadnienia dotyczące adaptacji akustycznych i projektowania pomieszczeń pracy pod kątem spełnienia wymagań w zakresie zapewnienia zrozumiałości mowy i percepcji sygnałów akustycznych dla osób niedosłyszących i niewidomych. Zalecenia, wytyczne i materiały informacyjne przygotowano do publikacji w Internecie na stronach serwisu internetowego CIOP-PIB.

Wyniki pracy opublikowano w artykule pt „Możliwość lokalizacji źródeł dźwięku przez osoby z dysfunkcją słuchu” czasopiśmie *Bezpieczeństwo Pracy* 7-8/2010. Wyniki pracy zaprezentowano także na konferencji XXXVIII Zimowa szkoła zwalczania zagrożeń wibroakustycznych, Gliwice-Szczyrk, marzec 2010 i opublikowano w materiałach konferencyjnych.