

mgr inż. Urszula Garlińska¹
mgr inż. Paweł Michalak¹
ppor. mgr Stanisław Pawłowski²
mgr inż. Tomasz Popielarczyk¹

Przyjęty/Accepted/Принята: 30.04.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 31.08.2015;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2015;

Pomiary zrozumiałości mowy dźwiękowych systemów ostrzegawczych³

Measurement of Speech Intelligibility for Voice Alarm Systems

Измерение разборчивости речи в системах звукового оповещения

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przybliżenie zagadnień związanych ze zrozumiałością komunikatów głosowych nadawanych przez DSO podczas sytuacji kryzysowych w obiektach budowlanych. Szczególną uwagę zwrócono na wybór właściwej metody pomiaru zrozumiałości oraz wskazanie różnic między nimi.

Wprowadzenie: DSO są wykorzystywane jako narzędzia wspomagające działania ratownicze podczas prowadzenia ewakuacji z obiektów budowlanych w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej, np. pożaru. Istnieje również możliwość wykorzystania ich do przekazywania komunikatów niezwiązanych z alarmowaniem (np. ogłoszeń, informacji o nadjeżdżających pociągach itp.) lub muzyki. Niezwykle istotnym parametrem, od którego zależy jakość i skuteczność przekazywanych komunikatów, jest zrozumiałość mowy. Właściwie zaprojektowany i zainstalowany system powinien przekazywać komunikaty, które będą zrozumiałe podczas ewakuacji. Do weryfikacji zrozumiałości mowy wykorzystywanych jest kilka metod, zarówno obiektywnych (część), jak i subiektywnych. Decyzja o doborze metody jest niezwykle istotna i czasami w trakcie pomiarów może zająć konieczność jej zmiany na inną, np. gdy dany obiekt budowlany i system nie spełniają określonych parametrów.

Metodologia: W artykule zastosowano głównie metody analizy i krytyki piśmiennictwa, ale również metodę obserwacji. Analizie poddano dokumenty normatywne opisujące proces projektowania i instalowania DSO. Wykorzystano również doświadczenie autorów publikacji dotyczących obserwacji procesów projektowania i instalowania DSO oraz istniejących instalacji w różnych obiektach budowlanych.

Wnioski: W artykule przedstawiono wyniki analizy literatury przedmiotu, dokumentów normatywnych oraz doświadczeń autorów publikacji w zakresie projektowania i instalowania DSO w obiektach budowlanych. Przeprowadzona analiza pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- Na właściwą zrozumiałość mowy wpływ mają zarówno elementy składowe systemu (wzmacniacze, głośniki), jak i akustyka pomieszczeń (czas pogłosu, hałas, wyposażenie).
- Najpopularniejszą metodą pomiaru zrozumiałości mowy jest pomiar wskaźnika transmisji mowy (*Speech Transmission Index STI*) lub jego uproszczona wersja dla systemów rozgłoszeniowych (*Speech Transmission Index for Public Address Systems STIPA*).
- Konieczne jest ujednoczenie wymagań dotyczących projektowania i instalowania DSO, w tym pomiarów zrozumiałości mowy.
- Należy rozważyć możliwość certyfikacji usług dla firm zajmujących się pomiarami zrozumiałości mowy DSO, ponieważ obecnie brakuje jakichkolwiek wymagań w tym zakresie.

Słowa kluczowe: dźwiękowe systemy ostrzegawcze, pomiary zrozumiałości mowy

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

¹ Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy, Józefów; / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland; tpopielarczyk@cnbop.pl

² Wojskowe Centrum Kształcenia Medycznego, Łódź; / The Military Medical Training Center, Poland; stanleypa2@wp.pl;

³ Autorzy wnieśli jednakowy wkład w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

ABSTRACT

Aim: The purpose of the article is to present issues associated with intelligibility of voice messages broadcast by voice alarm systems during emergencies in buildings. Particular attention was paid to the choice of appropriate method for measurement of speech intelligibility and identification of differences between methods.

Introduction: Voice alarm systems are used as tools, to assist rescue operations with the evacuation of buildings during emergencies, e.g. during an outbreak of a fire. It is also possible to use such systems for non-emergency purposes e.g. advertising, information about approaching trains, or music. Speech intelligibility is a very important parameter, which determines the quality and effectiveness of communication. The voice alarm system, when properly designed and installed, should broadcast information, which should be understood during an evacuation process. There are several methods, which can be used to verify speech intelligibility; objective (used more often) and subjective. The decision concerning choice of method is very important and, sometimes during the measurements process, it may be necessary to change to an alternative, e.g. when a building and/or voice alarm system do not meet specified parameters.

Methodology: The study contains a critical review of literature and includes outcomes from observation. Normative documents, describing the process of designing and installation of voice alarm systems, were analyzed. Additionally, the author's experience with systems across a range of installations were harnessed.

Conclusions: This article revealed results from an analysis of literature, normative documents and authors experience in the design and installation of voice alarm systems in buildings. The analysis leads to following conclusions:

- Speech intelligibility is affected by system components (amplifiers, speakers) and room acoustics (reverberation time, noise, furnishing).
- The most common method of measurement is with the aid of a Speech Transmission Index (STI) or its simplified version Speech Transmission Index for Public Address Systems (STIPA).
- It is necessary to standardise the design and installation requirements for voice alarm systems, including measurement of speech intelligibility.
- Certification of services should be considered for business concerns engaged with the measurement of speech intelligibility because, currently, there is a lack of any requirements in this area.

Keywords: voice alarm systems, measurements of speech intelligibility

Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью статьи является ознакомление читателей с вопросами, связанными с разборчивостью голосовых сообщений систем звукового оповещения в кризисных ситуациях на строительных объектах. Особое внимание было уделено указанию различий между разными методами измерения разборчивости речи и определению лучшего из них.

Введение: Системы звукового оповещения используются в качестве устройств, для оказания поддержки при спасательных операциях во время эвакуации со строительных объектов в случае кризисной ситуации, такой как, например, пожар. Их можно также использовать для передачи сообщений, не связанных с (аварийным) оповещением (например, объявлений, информации о подъезжающих поездах и др.), или музыки. Особенно важным параметром, от которого зависит качество и эффективность передаваемых сообщений, является разборчивость речи. Правильно спроектированная и установленная система должна передавать сообщения, которые будут понятны во время эвакуации. Для проверки разборчивости речи используется несколько методов, как объективных (чаще всего), так и субъективных. Выбор метода очень важный. Случается, что во время измерений возможно потребуется изменить метод на другой, например, когда данный строительный объект и система не соответствуют определённым параметрам.

Методология: В статье был применен в главном метод анализа и критики записей, но также метод наблюдений. Анализу подвергались действующие нормативные документы, описывающие процесс проектировки и инсталляции систем звукового оповещения. Был использован также опыт авторов публикации, полученный во время наблюдения процессов проектировки и установки систем звукового оповещения, а также существующих инсталляций на разных строительных объектах.

Выводы: В статье представлены результаты анализа предметной литературы, нормативных документов и опыта авторов публикации относительно проектировки и инсталляции систем звукового оповещения на строительных объектах.

Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

- на высокую разборчивость речи влияют как составные элементы системы (усилители, динамики), так и акустика помещений (время отзвука/реверберации, шум, оборудование).
- наиболее популярным методом измерения разборчивости речи является измерение коэффициента передачи речи (STI) или его упрощенная версия для систем трансляции (*Speech Transmission Index for Public Address Systems STIPA*).
- необходимо унифицировать требования относительно проектировки и установки систем звукового оповещения, в том числе измерения разборчивости речи.
- следует рассмотреть возможность сертификации услуг для фирм, занимающихся измерением разборчивости речи систем звукового оповещения, так как в настоящее время требования к этой области отсутствуют.

Ключевые слова: звуковые системы оповещения, измерение разборчивости речи

Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Dźwiękowy system ostrzegawczy powinien umożliwiać rozgłaszanie sygnałów ostrzegawczych i komunikatów głosowych na potrzeby bezpieczeństwa osób przebywających w obiekcie budowlanym. Sygnały i komunikaty nadawane są automatycznie po otrzymaniu sygnału z systemu sygnalizacji pożarowej bądź przez operatora. Lista obiektów budowlanych, w których stosowanie DSO jest obligatoryjne, znajduje się w § 29 ust. 1 rozporządzenia ws. ochrony przeciwpożarowej budynków [1]. Zanim powstał system określany dziś jako DSO, przez wiele lat w budynkach użyteczności publicznej funkcjonowały gotowe rozwiązania audio, służące do przekazywania komunikatów niezwiązanych z alarmowaniem. W ostatnich latach systemy te przeszły swoistą ewolucję do specjalizowanych systemów rozgłaszania o pożarze [2].

DSO instalowany jest w obiektach budowlanych o dużej powierzchni i kubaturze, w których w jednej chwili może przebywać duża liczba osób, które zazwyczaj nie są zaznajomione z obiektem. Są to obiekty takie jak centra handlowe, sale widowiskowo-sportowe, kina, teatry, stacje metra czy też budynki wysokie i wysokościowe.

DSO i jego elementy są urządzeniami przeciwpożarowymi. Jak każde urządzenie przeciwpożarowe, również DSO powinien być wykonany zgodnie z projektem uzgodnionym przez rzeczoznawcę do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, a warunkiem dopuszczenia do jego użytkowania jest przeprowadzenie odpowiednich prób i badań, potwierdzających prawidłowość jego działania [1]. Niestety ustawodawca nie wskazał dokumentu, według którego taki projekt należy wykonać. Powoduje to pewne zamieszanie w tym zakresie, ponieważ obecnie możemy spotkać kilka dokumentów, które zawierają wymagania dotyczące projektowania, instalowania i konserwacji DSO, w tym wytyczne w zakresie wykonywania pomiarów zrozumiałości mowy. W Polsce i w Europie nadal wykorzystywana jest norma z 2003 roku –PN-EN 60849 [3], która jest odpowiednikiem normy IEC 60849:1998, która została wycofana na świecie w 2007 r. i została zastąpiona przez normy ISO 7240-16 [4] i ISO 7240-19 [5]. Brak konsekwencji w wycofywaniu spowodował, że wersja PN-EN 60849 nadal funkcjonuje. W 2014 r. podjęto działania mające na celu wyeliminowanie tego problemu, a mianowicie rozpoczęto

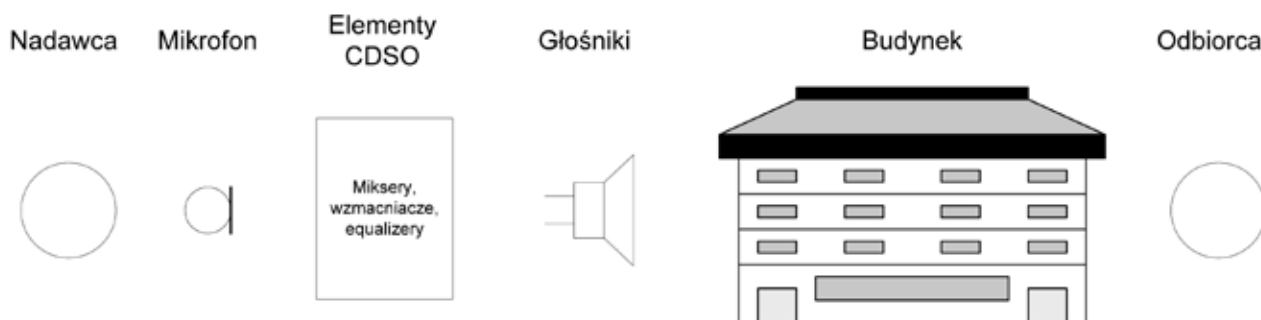
prace nad normą EN 50849 [6], która ma zastąpić EN 60849. Pojawia się jednak pytanie: dlaczego zamiast zastąpienia jej normą ISO 7240-19 opracowywana jest nowa norma?

Warto nadmienić, że w Europie od kilku lat trwają prace nad innym dokumentem dotyczącym projektowania, instalowania i konserwacji DSO, czyli specyfikacją CEN/TS 54-32 [7]. Istnieją również norma niemiecka DIN VDE 0833-4 [8] oraz brytyjska BS 5839-8:2013, które dotyczą tego zakresu [9]. Z powyższego wynika, że projektowanie i instalowanie DSO opisane jest w wielu dokumentach, ale w Polsce nadal obowiązuje dokument, który opracowany został w 1998 r. W ocenie autorów w Europie istnieje potrzeba ujednoczenia wymagań i stworzenia jednego dokumentu, według którego DSO będzie projektowane. Wtedy możliwe będzie również zaadaptowanie ujednoczonych wymagań w tym zakresie również w Polsce.

Istotne jest jednak to, że mimo mnogości dostępnych dokumentów normatywnych, zagadnienia dotyczące zrozumiałości mowy opisywane są bardzo podobnie. W każdym dokumencie wymieniane są podobne metody pomiarów zrozumiałości mowy. W niniejszym artykule dokonano porównania wymagań opisanych w ww. dokumentach, przedstawiono czynniki wpływające na zrozumiałość mowy oraz opisano etapy pomiaru zrozumiałości mowy.

2. Czynniki wpływające na zrozumiałość mowy

Odpowiednia zrozumiałość komunikatów głosowych jest niezwykle istotna, stąd też po zainstalowaniu DSO w obiekcie należy sprawdzić, czy zastosowany system jest w stanie przekazywać zrozumiałe komunikaty. Zrozumiałość mowy jest to miara stopnia, w jakim rozumiemy język mówiony [10–11]. Do zrozumienia mowy nie jest wystarczająca tylko jej słyszalność. Odpowiedni poziom dźwięku jest warunkiem koniecznym, ale niewystarczającym dla dobrej zrozumiałości. Tak jak oświetlenie rozazanego tekstu nie uczyni go bardziej czytelnym, tak zwiększenie głośności mowy, która została zakłócona przez pogłos, echo czy zniekształcenia nie spowoduje, że będzie ona bardziej zrozumiała. Wystarczająco głośny, ale obciążony pogłosem sygnał może być całkowicie niezrozumiały, co mogą poświadczyć użytkownicy lotnisk czy dworców [10].



Ryc. 1. Droga transmisji dźwięku od nadawcy do odbiorcy

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [10].

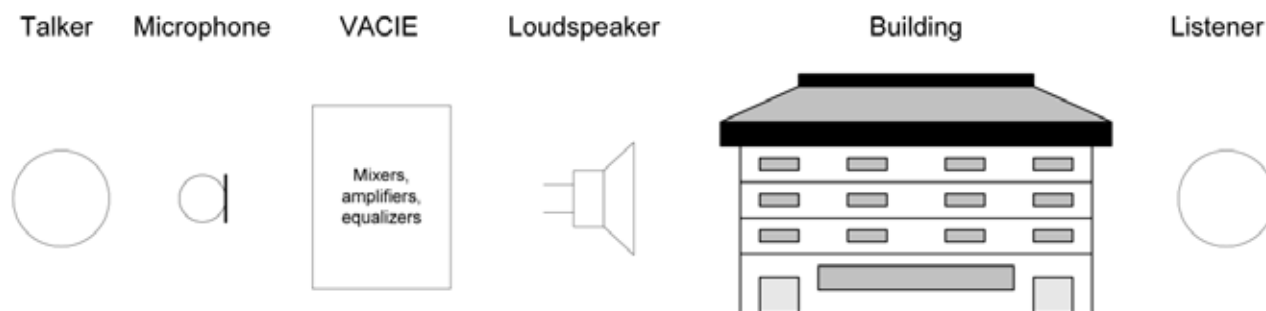


Fig. 1. Talker-to-listener transmission path

Source: Own elaboration based on [10].

Na zrozumiałość mowy ma wpływ wiele czynników (ryc. 1):

- predyspozycje nadawcy – akcent, wady wymowy, tempo, intonacja, nieumiejętność obsługi mikrofonu, np. niewłaściwy odstęp ust od mikrofonu,
- elementy DSO – poziom dźwięku, zniekształcenia nieliniowe spowodowane nieliniowością sprzętu elektroakustycznego i głośników, w wyniku czego powstają nowe składowe częstotliwościowe, zniekształcenia amplitudowe (liniowe) spowodowane nierównomiernością charakterystyki częstotliwościowej głośników,
- budynek (pomieszczenie):
 - poziom tła (stosunek sygnału do szumu S/N) – szum tła maskuje i przytłumia komunikat alarmowy,
 - pogłos – jest zależny od wielkości pomieszczenia, zastosowanych materiałów budowlanych, wbudowanych elementów, pokrycia ścian i podłogi, jak również umeblowania. Pogłos powstaje z odbić dźwięku, które powodują rozmycie dźwięku, przez co staje się mniej czysty i wyraźny, a przez to mniej zrozumiały,
 - echa – echo pojawiające się dużo później niż pierwsze dźwięki powoduje pogorszenie zrozumiałości.

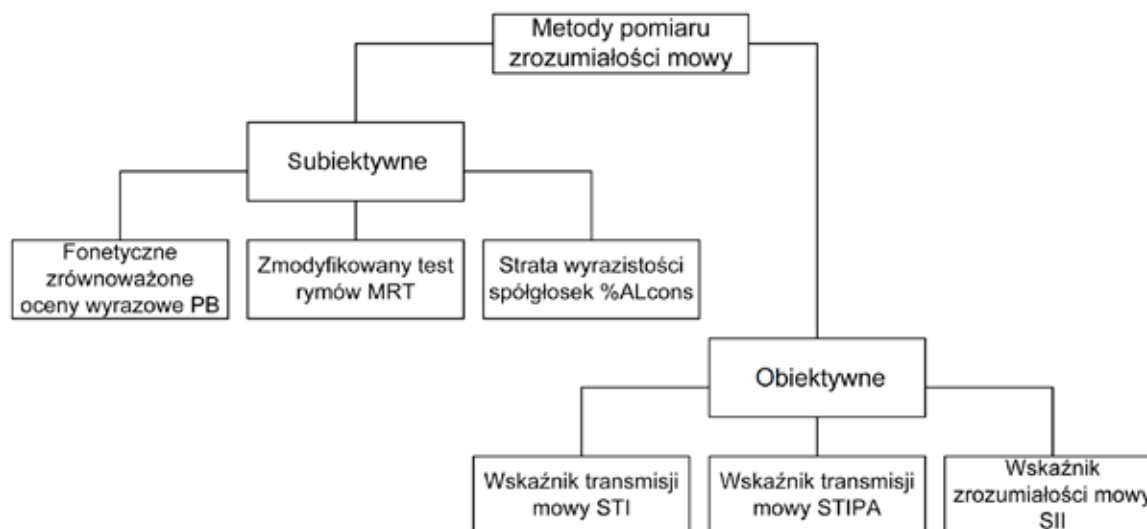
W przypadku ciągłej mowy, echo poprzednio wypowiedzianych sylab ukrywa lub zniekształca brzmienie następnych, czyniąc je trudniejszymi do zrozumienia. Opóźnienie i poziom echa są głównymi zmiennymi wpływającymi na jego stopień uciążliwości [10].

- predyspozycje odbiorcy – wady słuchu, naturalne przytępienie słuchu spowodowane wiekiem, zdolności językowe.

Z powyższego wynika, że konieczność instalacji w danym obiekcie DSO powinna być uwzględniana już na etapie projektowania obiektu, a nie po jego wybudowaniu. Często wtedy ingerencja w budynek jest zbyt kosztowna, a nawet technicznie niemożliwa.

3. Metody zrozumiałości mowy

Aby zweryfikować, czy w danym obiekcie komunikaty nadawane za pomocą zainstalowanego systemu są zrozumiałe, należy skorzystać z dostępnych metod pomiaru zrozumiałości mowy (ryc. 2).



Ryc. 2. Metody pomiaru zrozumiałości mowy DSO

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5–6], [7–8].

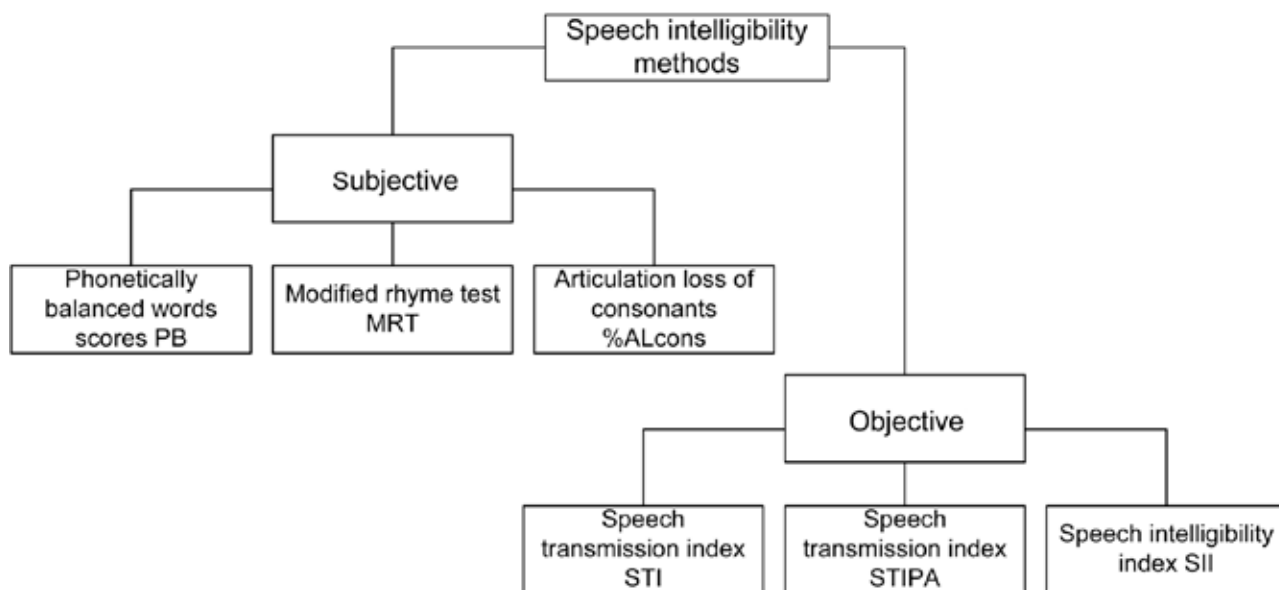
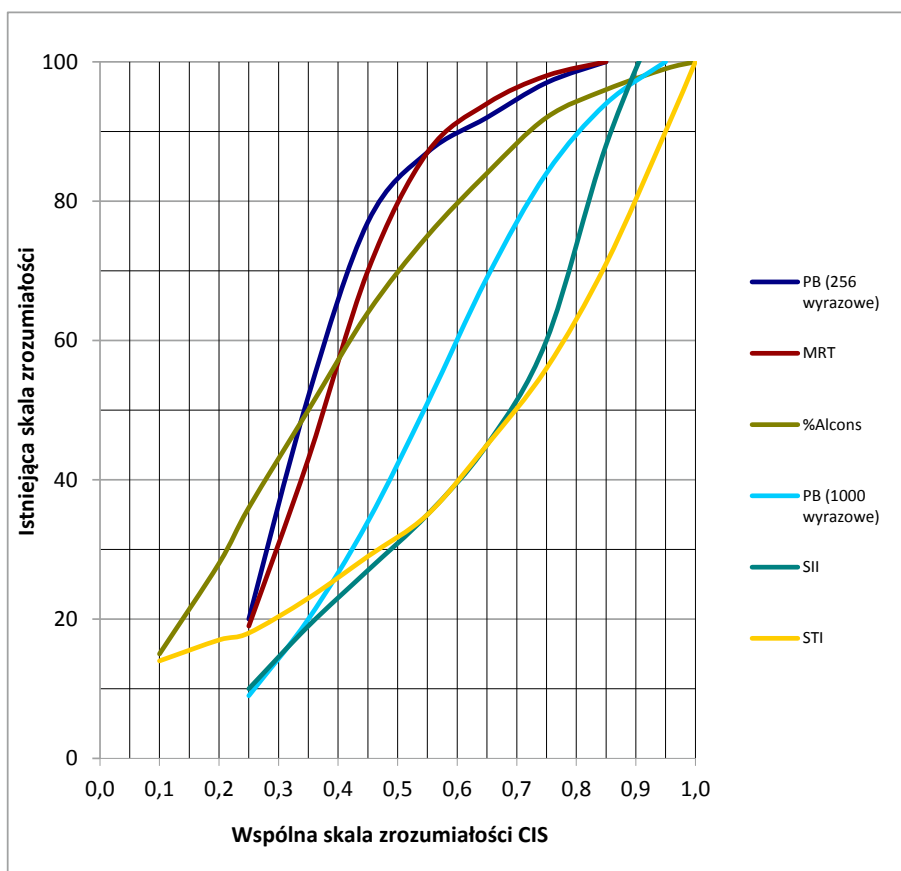


Fig. 2. Measurement methods of VAS speech intelligibility
 Source: Own elaboration based on [5–6], [7–8].

Istnieje możliwość porównania wyników różnych metod pomiarów z wykorzystaniem wspólnej skali zrozumiałości mowy (CIS, ang. *Common Intelligibility Scale*). Zrozumiałość mowy dla DSO powinna być nie mniejsza niż 0,7 (0,5 STI) na wspólnej skali zrozumiałości mowy pokazanej

na ryc. 3. Istnieje możliwość obniżenia kryterium do 0,65, ale tylko w obiektach, w których użytkownicy są zaznajomieni ze sobą, co w przypadku obiektów wymienionych w [1] nie występuje. Z tego powodu obniżenie kryterium w podanych sytuacjach nie powinno być stosowane.



Ryc. 3. Przejście z istniejących skal zrozumiałości na wspólną skalę zrozumiałości
 Źródło: [3], [6], [7–8].

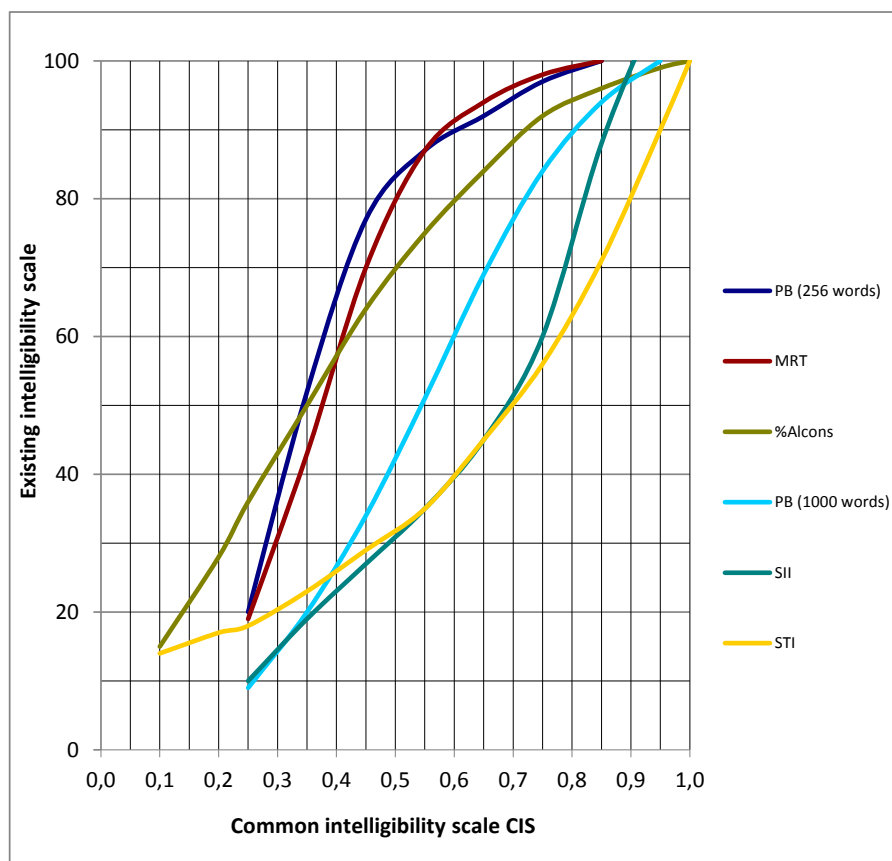


Fig. 3. Conversion of existing intelligibility scales

Source: [3], [6], [7–8].

Trzeba pamiętać, że CIS 0,70 jest daleki od idealnej zrozumiałości. Odpowiada mniej więcej zrozumiałości 80% słów i 95% zdań, czyli nieco więcej niż jest wymagane, aby odpowiednio przekazać komunikat alarmowy. Ten sam poziom zrozumiałości w systemie nagłośnieniowym,

wykorzystywanym w innych celach mógłby często być uznany za niesatysfakcjonujący [10]. Ponadto w pomieszczeniach o dużym czasie pogłosu i wysokim poziomie tła osiągnięcie takiej wartości zrozumiałości mowy będzie praktycznie niemożliwe [5–6].

Tabela 1. Wymagane wartości zrozumiałości mowy w zależności od wybranej metody pomiaru [5]

| Metoda pomiaru | Wymagana wartość (0,7 na skali CIS) |
|--|---|
| Wskaźnik transmisji mowy STI | 0,5 [-] |
| Wskaźnik transmisji mowy STIPA | 0,5 [-] |
| Wskaźnik zrozumiałości mowy SII | 0,5 [-] |
| Fonetyczne zrównoważone oceny wyrazowe PB | 94 [%] (256 wyrazowe) lub 77 [%] (1000 wyrazowe) |
| Zmodyfikowany test rymów MRT | 94% |
| Strata wyrazistości spółgłosek %Al _{cons} | 12% |

Table 1. Required speech intelligibility values [5]

| Measurement method | Required values (0,7 CIS) |
|---|--|
| Speech transmission index STI | 0,5 [-] |
| Speech transmission index for public address STIPA | 0,5 [-] |
| Speech intelligibility index SII | 0,5 [-] |
| Phonetically balanced words scores PB | 94 [%] (256 words) or 77 [%] (1000 words) |
| Modified rhyme test MRT | 94% |
| Articulation loss of consonants %Al _{cons} | 12% |

Metody obiektywne należy zastosować, gdy [9]:

- czas pogłosu w ocenianym pomieszczeniu przekracza 1,5 s w zakresie częstotliwości od 500 Hz do 2kHz,
- poziom tła przekracza 75 dB,
- odległość odbiorcy (słuchacza) od najbliższego głośnika przekracza 10 m.

Metody subiektywne stosujemy w przypadku, gdy powyższe warunki nie zachodzą i zostało to uzgodnione przez wszystkie zainteresowane strony (projektanta, instalatora, inwestora). Podczas pomiarów metodami subiektywnymi w testach powinny brać udział osoby o normalnym progu słyszenia. Przekazywane wiadomości lub tekst powinny być nieznanie słuchaczom i przekazywane przez tzw. „mikrofon strażaka”, który jest elementem zainstalowanego DSO.

Metody subiektywne nie zostały szerzej opisane w niniejszym artykule, ponieważ w Polsce są praktycznie niewykorzystywane. Nie wynika to z nieznaności tych metod, ale dzieje się tak dlatego, że metody te są kosztowne i trudno je przeprowadzić, wymagają dużej liczby wyszkolonych nadawców i odbiorców, a także użycia odpowiedniej liczby słów, aby uzyskać rzeczywiste i prawidłowe wyniki, które nie zawsze są powtarzalne. Należy jednak pamiętać, że często mogą one być lepsze, ponieważ podczas pomiarów można „na żywo” zweryfikować jakość całej instalacji DSO, jak również akustyki pomieszczeń.

3.1. Wskaźnik transmisji mowy (Speech Transmission Index STI)

Jest to najczęściej stosowana metoda pomiaru zrozumiałości mowy. Sposób wykonania pomiarów opisany został w normie PN-EN 60268-16:2011 [11]. STI jest obiektywną miarą, która umożliwia określenie zrozumiałości mowy przekazywanej przez nadawcę do odbiorcy przez kanał transmisyjny. Początki tej metody sięgają lat 70. ubiegłego wieku. Powstała ona w laboratorium TNO w Holandii. Głównym celem jej opracowania było ilościowe określenie stopnia pogarszania się zrozumiałości komunikatu przekazywanego przez system audio. Metoda pomiaru miała być z założenia szybka i obiektywna.

W metodzie STI wykorzystywany jest specjalny sygnał, który zastępuje mowę. Sygnał testowy, tak jak mowa, obejmuje dwa widma: słyszalne i modulacyjne. Widmo słyszalne modelowane jest przy użyciu sygnału szumu, które składa się z 7 pasm oktawowych o częstotliwościach środkowych w zakresie od 125 Hz do 8 kHz. Następnie pojedyncze zakresy oktawowe mogą być modulowane 14 częstotliwościami w odstępach jedna trzecia oktawy w zakresie od 0,63 Hz do 12,5 Hz. Z tego powodu należy wykonać 98 pomiarów, które stanowią kombinację widma słyszalnego i modulacyjnego.

Pomiar zniekształceń sygnału w kanale transmisji ustala stopień, w jakim odbierany sygnał jest zniekształcony w kanale transmisji. STI jest obliczany z wyników

pomiarów funkcji przenoszenia modulacji (*Modulation Transfer Function MTF*).

Jakość przekazywanego sygnału określana jest wartością w skali od 0 do 1, która odpowiada ilości zachowanej modulacji we wszystkich kombinacjach zakresów oktawowych widma słyszalnego i częstotliwości modulacji widma modulacyjnego. STI równe 0 oznacza zerową zrozumiałość mowy. To znaczy, że odbierany sygnał jest całkowicie zniekształcony (np. przez szumy, pogłos). STI równe 1 oznacza 100-procentową zrozumiałość mowy, modulacja odbieranego sygnału została zachowana. Pomiar STI trwa około 15 minut (średnio 10 sekund na sygnał testowy).

Ze wszystkich metod pomiarów zrozumiałości mowy, STI ma tę zaletę, że prawidłowo uwzględnia wszystkie czynniki na drodze transmisji nadawca – odbiorca, które wpływają na zrozumiałość oraz jest relatywnie prosta do przeprowadzenia. Jednak ważne jest, aby uświadomić sobie, że metoda ta zawiera pewne uproszczenia przetwarzania mowy ludzkiej.

Z uwagi na czasochłonność i koszty, pełna wersja STI zazwyczaj stosowana jest do badań rozwojowych. W związku z tym opracowano kilka pochodnych metod, które bazują na metodzie STI. Jednym z przykładów jest pomieszczeniowy akustyczny wskaźnik transmisji mowy (*Room Acoustic Speech Transmission Index RASTI*), który norma z 2001 roku [3] dopuszcza do stosowania. Pozostałe dokumenty nie uwzględniają tej metody z uwagi na to, że metoda ta jest niedokładna i daje niemiernodajne wyniki. Dzieje się tak dlatego, że sygnał testowy RASTI składa się z tylko jednego sygnału testowego ustalonego z góry zestawu dziewięciu częstotliwości modulacji, które są generowane równocześnie, 5 dla 2000 Hz, a 4 cztery dla 500 Hz.

3.2. Wskaźnik transmisji mowy dla systemów nagłośnieniowych (Speech Transmission Index for Public Address Systems STIPA)

Metoda STI rzadko jest wykonywana w pełnej wersji. Częściej wykonuje się pomiary STIPA z uwagi na krótszy czas pomiaru przy jednocześnie dobrej jakości wyników. Metoda opisana jest w PN-EN 60268-16:2011 [11]. Sygnał testowy pomija niewspółzależne modulacje wymagane do właściwej interpretacji zniekształceń nieliniowych. To umożliwia modulowanie i równoległą obróbkę jednocześnie wszystkich pasm częstotliwości. STIPA wymaga pomiarów mniejszej liczby wskaźników modulacji. STIPA składa się z sygnału testowego z predefiniowanego zestawu dwóch częstotliwości modulujących dla 7 pasm oktawowych o częstotliwościach środkowych w zakresie od 125 Hz do 8 kHz, które są generowane jednocześnie dając łącznie 14 wskaźników modulacji (tabela 2). Jeden pomiar trwa od 10 do 20 sekund. Sygnał STIPA oparty jest na męskim widmie mowy, ponieważ tylko taki został dotychczas zwalidowany.

Tabela 2. Częstotliwości modulujące dla metody STIPA [11]

| Pasmo oktawowe [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|--|------|------|------|------|------|------|------|
| Pierwsza częstotliwość modulująca [Hz] | 1,60 | 1,00 | 0,63 | 2,00 | 1,25 | 0,80 | 2,50 |
| Druga częstotliwość modulująca [Hz] | 8,00 | 5,00 | 3,15 | 10,0 | 6,25 | 4,00 | 12,5 |

Table 2. Modulation frequencies for the STIPA method [11]

| Octave band [Hz] | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 | 8000 |
|----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| First modulation frequency [Hz] | 1,60 | 1,00 | 0,63 | 2,00 | 1,25 | 0,80 | 2,50 |
| Second modulation frequency [Hz] | 8,00 | 5,00 | 3,15 | 10,0 | 6,25 | 4,00 | 12,5 |

3.3. Wskaźnik zrozumiałości mowy (*Speech Intelligibility Index SII*)

Metoda ta stanowi aktualizację metody pomiaru wskaźnika wyrazistości (*Articulation Index AI*). Sposób przeprowadzenia pomiarów został opisany w standardzie ANSI (S3.5-1997) [12].

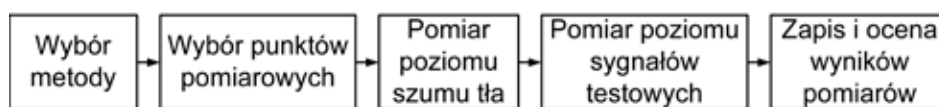
Metoda AI została opracowana dla sytuacji, w których dominujący wpływ na zrozumiałość mają poziomy sygnał i szumów tła. Nie bierze ona jednak pod uwagę akustyki pomieszczeń (echa i pogłosu) oraz zniekształceń nieliniowych (np. z przesterowanego wzmacniacza). Z tych powodów nie była najlepszym wyborem do ogólnych celów dźwiękowych systemów ostrzegawczych, ponieważ pogłosy, echa i zniekształcenia są czynnikami, które bardzo często występują w takim otoczeniu [10].

SII uwzględnia już akustykę pomieszczeń (echo, pogłos). Wskaźnik SII nie jest mierzony bezpośrednio, a jest obliczany z pomiarów poziomu komunikatu i hałasu. Jest całkowicie oparty na stosunkach sygnału do szumu w poszczególnych pasmach częstotliwości, a każdy z parametrów przyczyniający się do utraty zrozumiałości przeliczany jest do równoważnego poziomu hałasu. Przewidziano

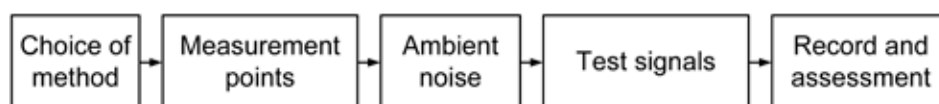
cztery procedury obliczeniowe, które odpowiadają czterem rodzajom pasma: pasmo krytyczne⁴ – 21 pasm, pasma 1/3 oktawowe – 18 pasm, pasma krytyczne – 17 pasm lub pasma oktawowe – 6 pasm. Podobnie jak STI, wskaźnik SII określany jest wartością od 0 do 1. Wartość 0,5 oznacza, że połowa treści komunikatu dociera do słuchacza. Przeprowadzone badania [14] potwierdzają, że podczas wykonywania pomiarów zrozumiałości mowy dla obu tych wskaźników otrzyma się zbliżone wartości w zakresie od 0 do 1. Jednak metoda SII wydaje się być znacznie bardziej wrażliwa niż metoda STI na wpływ odpowiedzi częstotliwościowej elementów systemu i jest polecana do pomiarów w obiektach, które są przeznaczone dla osób niedosłyszących.

4. Etapy pomiaru zrozumiałości mowy

Procedura pomiarowa zrozumiałości komunikatów rozgłaszanych przez DSO jest różna, w zależności od tego, która metoda pomiaru została wybrana. Istnieje jednak kilka podobieństw i ogólna procedura pomiaru zrozumiałości mowy została przedstawiona na ryc. 4.

**Ryc. 4.** Etapy pomiaru zrozumiałości komunikatów DSO

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5], [6–7].

**Fig. 4.** The steps for measuring the intelligibility of the VAS messages

Source: Own elaboration based on [5], [6–7].

4.1. Wybór metody

Pierwszy etap to oczywiście wybór metody. Metoda powinna być doborzona do obiektu, wyznań zawartych w projekcie i zasobów finansowych. Należy również uwzględnić ograniczenia poszczególnych metod do wykorzystania w różnych warunkach.

4.2. Wybór punktów pomiarowych

Punkty, w których należy wykonać pomiar, dobiera się z uwzględnieniem poniższych zasad [5], [6–7],

⁴ Pasma krytyczne można rozumieć jako filtr słuchowy, który posiada taką szerokość pasma częstotliwości, że po jej przekroczeniu pewne cechy percepcyjne dźwięku ulegają wyraźnej zmianie, ponieważ składowe spektralne dźwięku wpadające w różne pasma krytyczne, czyli oddalone od siebie o więcej niż szerokość pojedynczego pasma, są przetwarzane przez system słuchowy oddzielnie [13].

które stanowią uszczegółowienie ogólnych zasad podanych w normie PN-EN 60849 [3]:

- punkty pomiarowe powinny być równo rozmieszczone w całym obszarze pomiarowym,
- odległość między sąsiednimi punktami pomiarowymi powinna odzwierciedlać równomierność pokrycia dźwięku (zazwyczaj nie powinna przekraczać 12 m),
- nie więcej niż 1/3 punktów powinna być zlokalizowana na osi głośników,
- wysokość punktów pomiarowych powinna wynosić 1,2 m ponad podłogą właściwą (wykończoną) dla pozycji siedzącej i 1,6 m ponad podłogą właściwą (wykończoną) dla pozycji stojącej,
- liczba punktów powinna być zgodna z ilością podaną w tabeli 3.

Tabela 3. Liczba punktów pomiarowych w zależności od powierzchni pomieszczenia [5], [6–7]

| Powierzchnia [m ²] | Minimalna liczba punktów pomiarowych |
|--------------------------------|--------------------------------------|
| poniżej 25 | 1 |
| 25 do mniej niż 100 | 3 |
| 100 do mniej niż 500 | 6 |
| 500 do mniej niż 1500 | 10 |
| 1500 do mniej niż 2500 | 15 |
| powyżej 2500 | 15 na 2500 m ² |

Źródło: ISO 7240-19:2007 [5], prEN 50849 [6], prCEN/TS 54-32 [7].

Table 3. Minimum number of measurement points [5], [6–7]

| Area [m ²] | Minimum number of measurement points |
|------------------------|--------------------------------------|
| Less than 25 | 1 |
| 25 to less than 100 | 3 |
| 100 to less than 500 | 6 |
| 500 to less than 1500 | 10 |
| 1500 to less than 2500 | 15 |
| Greater than 2500 | 15 per 2500 m ² |

4.3. Pomiar poziomu szumu tła

Ponieważ poziom szumu tła jest rzadko stały (z uwagi na poziom zajęcia budynku przez użytkowników, uruchomione urządzenia w różnym czasie), pomiar powinien być wykonany w punktach reprezentatywnych przez dostateczny czas odpowiedni dla szumów tła. Widmo poziomu hałasu otoczenia musi być określone we wszystkich pasmach oktaowych od 125 Hz do 8 000 Hz.

Zrozumiałość powinna być oceniana w najgorszych możliwych do wystąpienia warunkach, uwzględniając poziom hałasu generowany przez urządzenia pracujące w czasie pożaru, np. wentylatory oddymiające. Stosunek sygnału do szumu powinien wynosić minimum 10 dB, by komunikat był zrozumiały. Należy pamiętać, że aby poziom SPL wzrósł o 3 dB, należy podwoić moc wzmacniacza i ewentualnie zwiększyć liczbę głośników. W związku z tym ważne jest, aby poziom szumu tła jak najbardziej odpowiadał rzeczywistości [9].

4.4. Pomiar poziomu sygnałów testowych

Podczas wykonywania pomiarów poziomu sygnałów testowych należy uwzględnić poniższe warunki:

- Gdy użyty jest mikrofon strażaka (a w Polsce stosowanie mikrofonu strażaka jest obowiązkowe), należy zastosować sygnał testowy, którego widmo częstotliwości i współczynnik amplitudy odpowiadają sygnałowi symulującemu mowę człowieka o takim samym poziomie głośności. Jeśli z praktycznego punktu widzenia nie jest zasadne stosowanie sygnału testowego do mikrofonu strażaka, istnieje możliwość stosowania bezpośredniego podawania sygnału testowego do systemu, pod warunkiem, że poziom ciśnienia akustycznego sygnału testowego jest równy poziomowi ciśnienia akustycznego normalnego komunikatu przekazywanego z mikrofonu, a mikrofon został wcześniej obiektywnie sprawdzony. Obiektywnym stwierdzeniem może być np. badanie odpowiedzi częstotliwościowej zgodnie z normą [15].

- Należy dostosować sygnał testowy tak, aby poziom ciśnienia akustycznego sygnału testowego (przy zastosowaniu krzywej korekcyjnej A) był wyższy o 3 dB od ciśnienia akustycznego zmierzonego przez co najmniej 40 sekund (lub mniej jeśli komunikat alarmowy trwa krócej), gdy DSO nadaje komunikat głosowy.

4.5. Zapis i ocena wyników pomiarów

W raporcie z pomiarów należy uwzględnić:

- metodę pomiarów,
- lokalizację punktów pomiarowych,
- poziom szumu tła, wyrażony w dB, w zakresie częstotliwości od 125 Hz do 8 kHz dla każdego punktu pomiarowego, wraz z czasem pomiaru,
- każde nadzwyczajne warunki, które mogą wpływać na prawidłowość pomiarów,
- zrozumiałość mowy w każdym punkcie pomiarowym,
- średnią arytmetyczną wszystkich wyników zrozumiałości mowy.

5. Podsumowanie

Dźwiękowe systemy ostrzegawcze instalowane w obiektach budowlanych muszą umożliwiać niezwłoczne przekazanie komunikatu alarmowego w przypadku wystąpienia sytuacji kryzysowej. Podczas projektowania systemu istotny jest dobór odpowiednich urządzeń, które zostały przebadane w akredytowanym laboratorium badawczym i posiadają certyfikaty stałości właściwości użytkowych i świadectwa dopuszczenia [16–17]. Równie ważne jest uwzględnienie akustyki pomieszczeń oraz przeznaczenia obiektu. Połączenie i uwzględnienie powyższych zaleceń umożliwi przekazanie komunikatu alarmowego, który będzie zrozumiały dla użytkowników obiektu i przyspieszy proces ewakuacji. Wyniki analizy literatury przedmiotu oraz dokumentów normatywnych opisujących proces projektowania i instalowania dźwiękowych systemów ostrzegawczych pokazują, że dźwiękowe systemy ostrzegawcze wymagają szczególnej uwagi, a proces

ich projektowania należy rozpocząć już podczas projektowania samego obiektu budowlanego. Przedstawiony w artykule opis etapów pomiaru zrozumiałości mowy i sposób oceny wyników pomiarów stanowi pewnego rodzaju wytyczne, jak taki pomiar wykonać. Należy jednak pamiętać, że przedstawiony sposób postępowania może się różnić w zależności od dobranej metody pomiaru, jak również specyfiki obiektu.

6. Wnioski

Przeprowadzona analiza literatury przedmiotu oraz dokumentów normatywnych pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- Na właściwą zrozumiałość mowy wpływ mają elementy składowe systemu (wzmacniacze, głośniki) oraz akustyka pomieszczeń (czas pogłosu, hałas).
- Najpopularniejszą metodą pomiaru zrozumiałości mowy jest pomiar wskaźnika transmisji mowy STI lub jego uproszczona wersja dla systemów rozgłoszeniowych

STIPA. Dzieje się tak, ponieważ STI prawidłowo uwzględnia wszystkie czynniki na drodze transmisji nadawca – odbiorca, wpływające na zrozumiałość oraz jest relatywnie prosta i tania do przeprowadzenia. Niestety często wykorzystuje się również inną uproszczoną wersję, czyli metodę RASTI, która jest przestarzała i nie jest zalecana do pomiarów zrozumiałości DSO.

- Konieczne jest ujednoczenie wymagań dotyczących projektowania i instalowania dźwiękowych systemów ostrzegawczych, w tym pomiarów zrozumiałości mowy. Obecnie w Polsce funkcjonują dokumenty normatywne wycofane ze stosowania w innych krajach europejskich.
- Należy rozważyć możliwość certyfikacji usług dla firm zajmujących się pomiarami zrozumiałości mowy DSO, ponieważ obecnie brakuje jakichkolwiek wymagań w tym zakresie. Pomiary może wykonać firma bez żadnego doświadczenia oraz nieposiadająca odpowiednich przyrządów pomiarowych, które są wzorcowane w akredytowanych laboratoriach wzorcujących.

Wykaz skrótów

% Alcons (ang.: *articulation loss of consonants*) – strata wyrazistości spółgłosek

AI (ang. *articulation Index*) – wskaźnik wyrazistości

CIS (ang. *common intelligibility scale*) – wspólna skala zrozumiałości mowy

DSO – dźwiękowy system ostrzegawczy

MRT (ang. *modified rhyme test*) – zmodyfikowany test rymów

MTF (ang. *Modulation Transfer Function*) – funkcji przenoszenia modulacji

PB (ang. *phonetically balanced words scores*) – fonetyczne zrównoważone oceny wyrazowe

RASTI (ang. *Room Acoustic Speech Transmission Index*) – pomieszczeniowy akustyczny wskaźnik transmisji mowy

SII (ang. *Speech intelligibility index*) – wskaźnik zrozumiałości mowy

STI (ang. *Speech transmission index*) – wskaźnik transmisji mowy

STIPA (ang. *Speech transmission index for public address*) – wskaźnik transmisji mowy

Literatura

- [1] Rozporządzenie MSWiA z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. 2010 Nr 109, poz. 719).
- [2] Cudowski A., *Wybrane zagadnienia dotyczące konstrukcji i badań dźwiękowych systemów ostrzegawczych*, BiTP Vol. 5 Issue 1, 2007, pp. 73–89.
- [3] PN-EN 60849:2001 Dźwiękowe systemy ostrzegawcze.
- [4] ISO 7240-16:2007 Fire detection and alarm systems – Part 16: Sound system control and indicating equipment.
- [5] ISO 7240-19:2007 Fire detection and alarm systems – Part 19: Design, installation, commissioning and service of sound systems for emergency purposes.
- [6] prEN 50849 Sound systems for emergency purposes.
- [7] PD CEN/TS 54-32:2015 Fire detection and fire alarm systems – Part 32: Planning, design, installation, commissioning, use and maintenance of voice alarm systems.
- [8] DIN VDE 0833-4:2014 Alarm systems for fire, intrusion and hold-up – Part 4: Requirements for voice alarm systems in case of fire.
- [9] BS 5839-8:2013 Fire detection and fire alarm systems for buildings. Code of practice for the design, installation, commissioning and maintenance of voice alarm systems.
- [10] Kenneth J., *Understanding Speech Intelligibility and the Fire Alarm Code*, National Fire Protection Association Congress Anaheim, May 14, 2001.
- [11] PN-EN 60268-16:2011 Urządzenia systemów elektroakustycznych – Część 16: Obiektywna ocena zrozumiałości mowy za pomocą wskaźnika transmisji mowy.
- [12] ANSI S3.5-1997 Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index.
- [13] Pluta M., *Badanie interakcji słuchacza ze sprzętowo – programowym systemem symulowania błędów intonacyjnych* (rozprawa doktorska), Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków 2008.
- [14] Leembruggen G., *Is SII better than STI at recognising the effects of poor tonal balance on intelligibility?*, Proc IOA Vol. 28 Part 6 2006.
- [15] PN-EN 54-16:2011 Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 16: Centrale dźwiękowych systemów ostrzegawczych.
- [16] Zboina J., Śliwiński R., Zaciera K., Wawerek M., *Głośniki do dźwiękowych systemów ostrzegawczych*, Standardy CNBOP-PIB, CNBOP-PIB-0021:2013, Józefów 2013.
- [17] Zboina J., Śliwiński R., Zaciera K., Pietrzak M., *Centrale dźwiękowych systemów ostrzegawczych*, Standardy CNBOP-PIB, CNBOP-PIB-0023:2014, Józefów 2014.

* * *

mgr inż. Urszula Garlińska – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego i Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz studiów podyplomowych na Politechnice Warszawskiej i Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie. Od 2013 roku pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej CNBOP-PIB.

mgr inż. Paweł Michalak – absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej oraz Podyplomowych Studiów Zarządzania Projektami Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie. Od 2013 roku pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej CNBOP-PIB.

ppor. mgr Stanisław Pawłowski – absolwent Wyższej Szkoły Oficerskiej Wojsk Lądowych we Wrocławiu. Pracuje jako instruktor CLS w Wojskowym Centrum Kształcenia Medycznego w Łodzi.

mgr inż. Tomasz Popielarczyk – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Od początku swojej pracy zawodowej związany z Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej, jako pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej. Od 2013 r. pełni funkcję zastępcy kierownika Zespołu Laboratoriów. Zajmuje się badaniami kwalifikacyjnymi, w tym badaniami funkcjonalnymi, środowiskowymi oraz kompatybilności elektromagnetycznej, na potrzeby certyfikacji urządzeń systemów sygnalizacji pożarowej, głównie central i głośników do dźwiękowych systemów ostrzegawczych oraz systemów zasilania. Ponadto jako auditor wiodący lub techniczny dokonuje ocen zakładowej kontroli produkcji badanych wyrobów. Jest autorem publikacji na tematy związane z ochroną przeciwpożarową budynków i obiektów budowlanych.