

Nowy model dźwiękowego sygnalizatora ostrzegawczego na przejściach dla pieszych



Sygnalizator dźwiękowy montowany na przejściach dla pieszych ma ułatwić osobom z upośledzonym narządem wzroku bezpieczne korzystanie z przejść. Emitowany sygnał dźwiękowy musi być słyszalny. Gdy zmniejsza się poziom hałasu komunikacyjnego, sygnalizator może stać się dla okolicznych mieszkańców źródłem dokuczliwego hałasu.

W CIOP-PIB opracowano jego nowy model, zaprezentowany w niniejszym artykule wraz z opisem uwzględniającym efekt maskowania sygnału przez hałas tła oraz badania laboratoryjne i terenowe związane z jego działaniem.

New model of audible pedestrian arm signalling device

Audible pedestrian signalling device installed at pedestrian crossings is supposed to advise blind people whether it is safe to safely cross the street. The signal it emits should be clearly audible. Decrease in level of the traffic noise may render audible pedestrian signal too loud to inhabitants living nearby. New model of adaptive audible pedestrian signalling device, constructed in CIOP-PIB, has been presented in the article along with the description of its ability to cloak sign in background noise, and laboratory and field tests related to its operation.

Wstęp

Często zdarza się, że dźwięki przez część osób postrzegane są jako użyteczne, natomiast przez inne osoby odbierane jako hałas. Zjawisko takie zachodzi m.in. w przypadku dźwięku emitowanego przez sygnalizatory montowane na przejściach dla pieszych.

Osobom z dysfunkcją wzroku dźwięk ten umożliwia bezpieczne korzystanie z przejść dla pieszych. Z kolei ten sam dźwięk stanowi źródło nieprzyjemnego hałasu dla mieszkańców domów sąsiadujących z przejściem.

Aby sygnalizator dźwiękowy na przejściach dla pieszych spełniał swoje zadanie (był słyszalny), musi być odpowiednio głośny. Gdy natężenie ruchu maleje i zmniejsza się ogólny poziom hałasu komunikacyjnego, sygnalizator może stać się dla okolicznych mieszkańców głównym źródłem hałasu. Problem ten obecnie coraz częściej rozwiązywany jest poprzez zastosowanie sygnalizatora adaptacyjnego, w przypadku którego poziom ciśnienia akustycznego emitowanego sygnału dźwiękowego dostosowywany jest automatycznie do poziomu hałasu panującego w otoczeniu przejścia dla pieszych (tzw. hałasu tła). Przeprowadzone w CIOP-PIB pomiary „in situ” [1, 2] wykazały, że ze względu na funkcję informacyjną stosowane adaptacyjne sygnalizatory dźwiękowe emitują poprawnie dobrany sygnał, niezależnie od poziomu hałasu tła. Badania wykazały także,

że zakres zmian poziomu emitowanego dźwięku podczas adaptacji do zmieniającego się poziomu hałasu tła wynosi ok. 5 dB, co w odniesieniu do zakresu zmian poziomu hałasu tła jest zakresem niewystarczającym.

Przyjmuje się, że sygnał dźwiękowy jest zwykle wyraźnie słyszalny, gdy jego poziom dźwięku A jest równy bądź wyższy od 65 dB, oraz gdy jest on większy od poziomu ciśnienia akustycznego hałasu tła o co najmniej 15 dB. Warunek ten jest zazwyczaj wystarczający, ale nie zawsze konieczny. Jeśli widmo sygnału lub charakterystyka czasowa sygnału dźwiękowego wyraźnie różnią się od analogicznych wielkości hałasu tła, wówczas niższe poziomy ciśnienia akustycznego mogą okazać się wystarczające, aby sygnalizator dźwiękowy na przejściach dla pieszych spełniał swoje zadanie (był słyszalny).

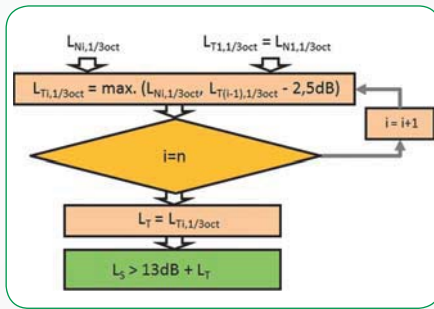
Analiza wymagań i uregulowań prawnych dotycząca sygnalizatorów dźwiękowych na przejściach dla pieszych [3, 4] wykazała, że możliwe jest znaczne obniżenie poziomu ciśnienia akustycznego emitowanych sygnałów przy zachowaniu ich funkcji informacyjnej. Głównym analizowanym parametrem sygnałów emitowanych na przejściach dla pieszych była słyszalność tego sygnału w całym obszarze przejścia. Podczas analizy wzięto pod uwagę nie tylko poziom ciśnienia akustycznego hałasu tła, ale także tzw. efekt maskowania. Maskowanie jest jednym

z procesów związanych z funkcjonowaniem narządu słuchu. Efekt maskowania powoduje, że określony dźwięk, który słyszymy, w momencie pojawienia się innych dźwięków staje się mniej wyraźny lub nie słyszymy go w ogóle. Maskowanie definiuje się jako proces, w wyniku którego próg słyszalności określonego dźwięku („sygnału”) wzrasta na skutek obecności innego dźwięku (tzw. dźwięku maskującego). Miarą maskowania jest wzrost progu słyszalności sygnału w obecności dźwięku maskującego. W przypadku dźwięku sygnalizatora ostrzegawczego na przejściach dla pieszych sygnał dźwiękowy jest wyraźnie słyszalny wtedy, gdy będzie wyraźnie głośniejszy od efektywnego progu słyszenia [5, 6].

W niniejszym artykule przedstawiono nowy model sygnalizatora dźwiękowego uwzględniający efekt maskowania sygnału przez hałas tła.

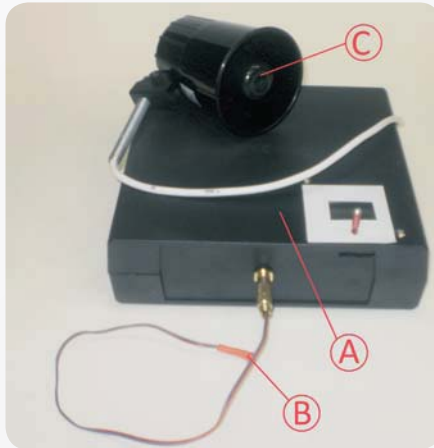
Model adaptacyjnego sygnalizatora ostrzegawczego

Na podstawie przeprowadzonej analizy oraz wytycznych przedstawionych w normie PN-EN ISO 7731 [7] opracowano algorytm doboru poziomu ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego, emitowanego przez sygnalizator adaptacyjny na przejściach dla pieszych w warunkach maskowania sygnału przez hałas tła (rys. 1.). Norma ta wprawdzie nie odnosi się do sygnalizacji dźwiękowej na przejściach dla



Rys. 1. Algorytm doboru poziomu ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego

Fig. 1. Algorithm for selecting the pressure level of the acoustic sound signal



Fot. 1. Model sygnalizatora opracowanego w CIOP-PIB

Photo 1. Model of the signalling device constructed at CIOP-PIB

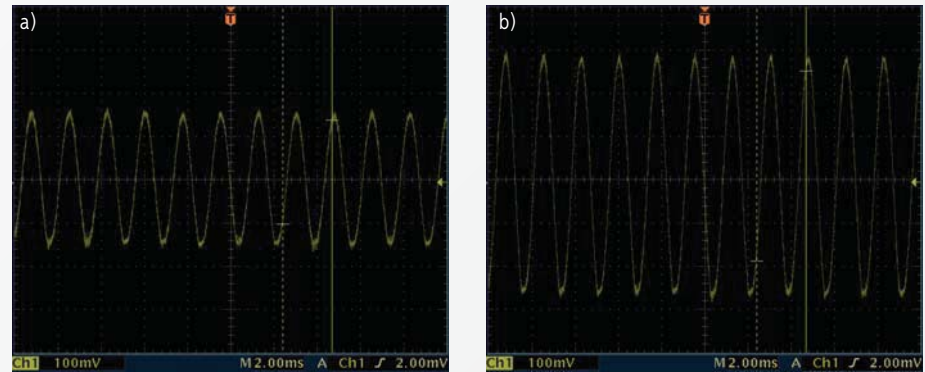
pieszych, jednak zawarte w niej wymagania mogą znaleźć zastosowanie w badaniach sygnałów dźwiękowych na przejściach. W opisie algorytmu przyjęto następujące oznaczenia $L_{N_{i,1/3oct}}$ – poziom ciśnienia akustycznego hałasu tła dla i -tego pasma 1/3 oktawowego, $L_{T_{i,1/3oct}}$ – efektywny próg słyszenia w warunkach maskowania dla i -tego pasma 1/3 oktawowego, L_s – poziom ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego, n = numer kolejnego pasma 1/3 oktawowego.

Metoda przedstawiona w normie zakłada, że ocenę słyszalności sygnału dźwiękowego należy przeprowadzić dla wszystkich pasm 1/3 oktawowych poniżej częstotliwości emitowanego sygnału dźwiękowego. Badania symulacyjne przeprowadzone w laboratorium CIOP-PIB wykazały, że dobór przeprowadzony dla czterech pasm daje wystarczające wyniki. Założono, że w przestrzeni wokół przejścia dla pieszych panuje hałas tła o poziomie ciśnienia akustycznego ($L_{N_{Lin}}$) ok. 67 dB oraz poziomach ciśnienia akustycznego w pasmach 1/3 oktawowych przedstawionych w tab. 1., natomiast sygnałem dźwiękowym emitowanym przez sygnalizator jest ton o częstotliwości 800 Hz. Do wyznaczenia minimalnego poziomu ciśnienia akustycznego tego sygnału niezbędnego do zapewnienia wymaganej jego słyszalności uwzględniono pasma 1/3 oktawowe o częstotliwościach środkowych 400, 500, 630, 800 Hz.

Tabela 1. Wyniki obliczeń wymaganego poziomu ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego

Table 1. Results of calculating the required sound pressure level

f [Hz]	125	...	315	400	500	630	800	1000	...	8000	Lin
L_N [dB]	49,6	...	48	45,7	44,3	43,9	40	39,7	...	24,9	67
L_s [dB]							54,5				54,5



Rys. 2. Przebiegi czasowe sygnału dźwiękowego o częstotliwości 500 Hz dla sygnału hałasu o częstotliwości 500 Hz i amplitudach 400 uV (a) i 800 uV (b)

Fig. 2. Time courses of a sound signal at the frequency of 500 Hz for a noise signal at the frequency of 500 Hz and the amplitude of 400 uV (a) and 800 uV (b)

Stosując przedstawiony na rys. 1. algorytm stwierdzono, że do usłyszenia sygnału dźwiękowego wystarczający jest jego poziom ciśnienia akustycznego wynoszący 54,5 dB. Jest on o ponad 12 dB niższy od poziomu ciśnienia akustycznego hałasu tła wokół przejścia dla pieszych.

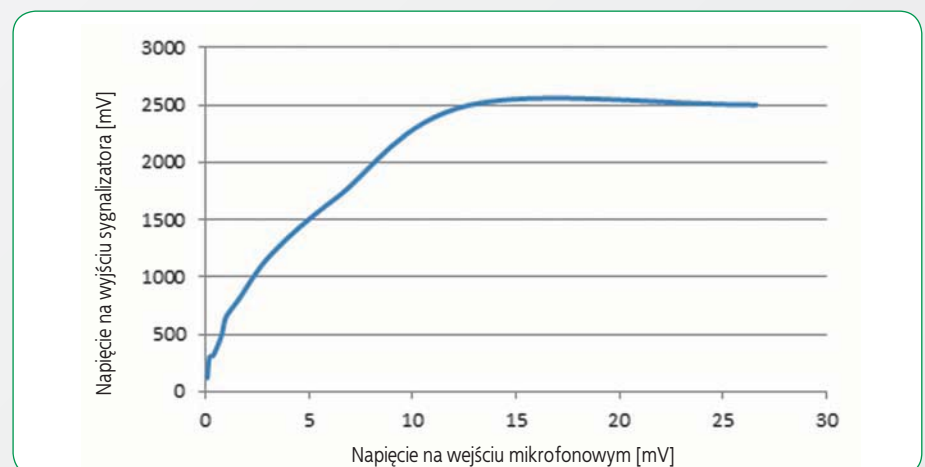
Algorytm doboru poziomu ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego zaimplementowano w opracowanym w CIOP-PIB modelu dźwiękowego sygnalizatora ostrzegawczego. Głównym jego elementem jest układ cyfrowego przetwarzania sygnałów (fot. 1A), który służy do wyznaczania poziomu ciśnienia akustycznego emitowanego sygnału dźwiękowego. Układ ten wykonano w oparciu o mikrokontroler AT89S8253. Ze względu na fakt, że do doboru poziomu ciśnienia akustycznego emitowanego sygnału istnieje konieczność pomiaru hałasu tła w przestrzeni wokół przejścia dla pieszych w pasmach 1/3 oktawowych, model sygnalizatora wyposażono w blok filtrów 1/3 okta-

wowych. W opracowanym modelu blok filtrów 1/3 oktawowych zrealizowano na wydzielonej płytce drukowanej w technice analogowej. Dzięki temu zapewniono możliwość wymiany zestawu filtrów w przypadku, gdyby została zmieniona częstotliwość podstawowa emitowanego sygnału akustycznego.

Poziom ciśnienia akustycznego emitowanego sygnału dźwiękowego dobierany jest na podstawie sygnałów rejestrowanych przez mikrofon elektretowy (fot. 1B), sygnał emitowany jest poprzez specjalny piezoelektryczny głośnik odporny na warunki atmosferyczne (fot. 1C).

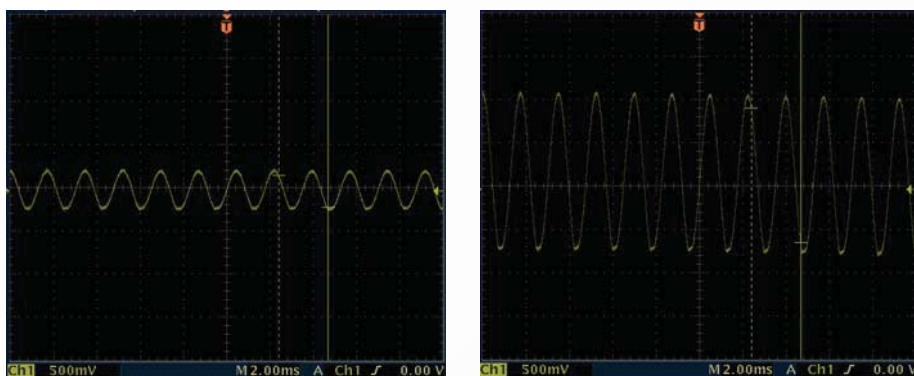
Badania laboratoryjne modelu sygnalizatora

Opracowany model poddano badaniom laboratoryjnym oraz testowym w warunkach ruchu drogowego. W trakcie badań laborato-



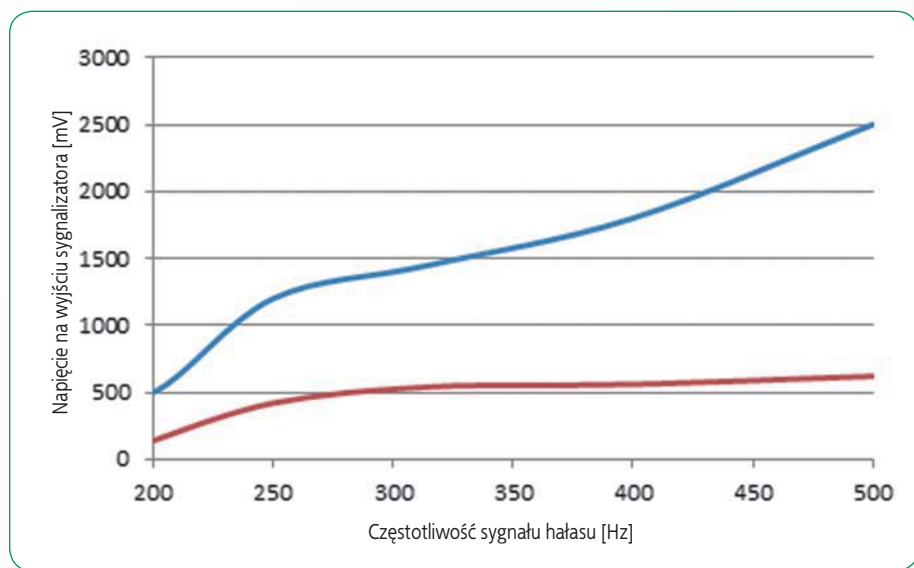
Rys. 3. Wartości amplitudy napięć sygnału dźwiękowego w zależności od amplitudy napięcia sygnału hałasu

Fig. 3. Values of the amplitude of the voltage of a sound signal depending on the amplitude of the voltage of the noise signal



Rys. 4. Przebiegi czasowe sygnału dźwiękowego o częstotliwości 500 Hz dla sygnałów hałasu w postaci tonów o częstotliwościach 200 i 400 Hz i amplitudzie 12,8 mV

Fig. 4. Time courses of the sound signal at the frequency of 500 Hz for the tone noise signals at the frequency of 200 and 400 Hz and the amplitude of 12.8 mV



Rys. 5. Wartości napięć sygnału dźwiękowego w zależności od częstotliwości sygnału hałasu (stała amplituda sygnału hałasu: kolor czerwony – 1 mV, kolor niebieski – 12,8 mV)

Fig. 5. Values of the voltage of the sound signal depending on the frequency of the noise signal (fixed amplitude of the noise signal: red – 1 mV, blue – 12.8 mV)

ryjnych na wejściu mikrofonowe sygnalizatora podawano sygnał z generatora B&K 1049, który symulował sygnał hałasu tła wokół przejścia dla pieszych. Sygnał ten rejestrowano i analizowano za pomocą oscyloskopu TDS3014B firmy Tektronix. Jednocześnie za pomocą tego samego oscyloskopu rejestrowano i analizowano sygnał elektryczny wysyłany do głośnika sygnalizatora dźwiękowego. Dla uproszczenia, sygnał elektryczny na wejściu mikrofonowym przyjęto nazywać sygnałem hałasu, a elektryczny sygnał wysyłany do głośnika sygnalizatora sygnałem dźwiękowym. W pierwszym etapie badań laboratoryjnych analizowano zmianę amplitudy emitowanego sygnału dźwiękowego w funkcji zmiany amplitudy sygnału hałasu.

Na rys. 2. przedstawiono przykładowe przebiegi czasowe generowanego sygnału dźwiękowego o częstotliwości podstawowej 500 Hz. W obu przypadkach sygnałem hałasu jest ton o częstotliwości 500 Hz. Rys. 2a przedstawia przebieg sygnału dźwiękowego o amplitudzie

320 mV, wywołanego sygnałem hałasu o amplitudzie 400 uV. Z kolei rys. 2b przedstawia przebieg sygnału dźwiękowego o amplitudzie 500 mV, wywołanego sygnałem hałasu o amplitudzie 800 uV. Przeprowadzając pomiary dla amplitud sygnału hałasu od 0 do 30 mV wyznaczono zależności pomiędzy amplitudą sygnału hałasu i amplitudą sygnału dźwiękowego (rys. 3.).

Tabela 2. Wartości amplitudy napięć sygnału dźwiękowego (zmierzone i obliczone) w zależności od zmienianej amplitudy sygnału hałasu

Table 2. Values of the amplitude of the sound signal voltage (measured and theoretical) depending on the changed amplitude of the noise signal

Sygnał hałasu (U_N)		Sygnał dźwiękowy		Błąd
[Hz]	[mV]	$U_{s.obl.}$ [mV]	$U_{s.zm.}$ [mV]	
250	12,8	1107	1200	8%
315	12,8	1476	1450	-2%
400	12,8	1968	1800	-9%
500	12,8	2624	2500	-5%

Jak można zauważyć, w zakresie od 0 do 12 mV, wraz ze wzrostem amplitudy hałasu liniowo rośnie amplituda sygnału dźwiękowego. Przedstawiona krzywa uwidacznia także maksymalną amplitudę napięcia, jakie może wygenerować sygnalizator dźwiękowy pod wpływem sygnału hałasu. Maksymalna amplituda sygnału dźwiękowego (równa 2,5 V) osiągnięta jest dla sygnału hałasu o amplitudzie ok. 12 mV, dalsze zwiększanie amplitudy sygnału hałasu nie powoduje już wzrostu amplitudy sygnału dźwiękowego. Amplituda sygnału dźwiękowego równa jest 2,5 V, co odpowiada poziomowi ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego na przejściach dla pieszych równemu 85 dB. Jest to maksymalny dopuszczalny poziom sygnału dźwiękowego na przejściach dla pieszych [3].

W drugim etapie badań laboratoryjnych mierzono zmianę amplitudy emitowanego sygnału dźwiękowego w funkcji zmiany częstotliwości sygnału hałasu. Na rys. 4. pokazano przykładowe przebiegi sygnału dźwiękowego o częstotliwości podstawowej 500 Hz w obecności sygnału hałasu w postaci tonów o stałej amplitudzie 12,8 mV i różnych częstotliwościach. Rys. 4a przedstawia przebieg sygnału dźwiękowego o amplitudzie 500 mV, wywołanego sygnałem hałasu o częstotliwości 200 Hz. Z kolei rys. 4b pokazuje przebieg sygnału dźwiękowego o amplitudzie 1800 mV, wywołanego sygnałem hałasu o częstotliwości 400 Hz.

Przeprowadzając pomiary dla stałej amplitudy i różnych częstotliwości sygnału hałasu wyznaczono zależności pomiędzy częstotliwością sygnału hałasu i amplitudą sygnału dźwiękowego (rys. 5.). Krzywe charakteryzują zmiany poziomu emitowanego sygnału dźwiękowego pod wpływem zmian częstotliwości sygnału hałasu. Zmiany te wynikają z uwzględnienia efektu maskowania w algorytmie doboru poziomu sygnału dźwiękowego.

Jak wynika z rys. 5., w miarę zwiększania się częstotliwości sygnału hałasu zwiększa się również amplituda generowanego sygnału dźwiękowego. Wzrost ten jest tym większy, im większa jest amplituda napięcia sygnału hałasu.

Otrzymane w pierwszym i drugim etapie badań laboratoryjnych wyniki pomiarów konfrontowano z wynikami obliczeń teoretycznych. Dla zmierzonej amplitudy hałasu (U_N) teoretycznie obliczono wymaganą amplitudę sygnału dźwiękowego. W tab. 2. podano przykładowe



Fot. 2. Widoki miejsc pomiarów
Photo 2. Test areas

amplitudy sygnału dźwiękowego wynikające z obliczeń ($U_{s,obl}$) i wartości zmierzonych ($U_{s,zm}$) w trakcie opisywanych wcześniej pomiarów. Przedstawione wyniki obliczeń i pomiarów przeprowadzono dla sygnału hałasu w postaci tonu o częstotliwościach 250, 315, 400 i 500 Hz. Amplituda napięcia sygnału pobudzającego była stała i wynosiła 12,8 mV.

Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że błędy w obliczaniu przez układ wartości amplitud napięcia generowanego sygnału akustycznego nie przekraczają 10%, co w skali logarytmicznej odpowiada błędowi poniżej 1 dB.

Badania modelu sygnalizatora dźwiękowego w warunkach ruchu drogowego

Kolejnym etapem weryfikacji modelu adaptacyjnego sygnalizatora dźwiękowego były badania w warunkach ruchu drogowego, przeprowadzane w trzech lokalizacjach: dwóch w Chorzowie i jednej w Warszawie. Pierwsza lokalizacja to skrzyżowanie w centrum miasta, o znacznym natężeniu ruchu włącznie z ruchem tramwajów. Wokół znajduje się kilkupiętrowa zabudowa, średni poziom dźwięku wynosi 61 dB. Drugim miejscem, w którym prowadzono badania weryfikacyjne, było przejście dla pieszych w cichej okolicy o niskiej zabudowie. Rejon ten charakteryzuje się niskim poziomem tła akustycznego – ok. 45 dB korygowanych krzywą A. W trakcie pomiarów poziom hałasu znacznie wzrastał czasie przejazdu samochodów, osiągając 70 – 80 dB. Kolejną lokalizacją był przystanek autobusowy zlokalizowany na nasypie przy wielopasmowej ruchliwej arterii. W najbliższej okolicy przystanku nie ma zabudowy oraz wysokich drzew. Ze względu na bardzo duże natężenie ruchu poziom hałasu jest znaczny i wynosi ok. 78 dB.

Model sygnalizatora dźwiękowego ustawiano na statywie w bezpośredniej bliskości ciągów komunikacyjnych (ok. 0,5 m od skraju drogi) lub mocowano do słupa sygnalizatora świetlnego

na przejściu dla pieszych (fot. 2.). Adaptację głośności emitowanego sygnału dźwiękowego oceniono poprzez badania subiektywne: polegały one jedynie na określeniu przez słuchacza faktu słyszenia sygnału dźwiękowego. W trakcie badań słuchacz znajdował się w odległości 1, 5 i 10 m. Badania wykazały, że sygnał dźwiękowy emitowany przez sygnalizator jest wystarczająco słyszalny. Niezbędna jest regulacja ustawień sygnalizatora po umieszczeniu go w miejscu działania ze względu na różne warunki akustyczne otoczenia przejścia dla pieszych. W ramach regulacji konieczne jest ustawienie czułości mikrofonu i wzmocnienie końcowego emitowanego sygnału.

Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań laboratoryjnych oraz terenowych wynika, że opracowany model adaptacyjnego sygnalizatora dźwiękowego uwzględniający efekt maskowania sygnału dźwiękowego przez hałas tła działa w sposób prawidłowy i zgodny z założeniami. Sygnalizator umożliwia regulację poziomu dźwięku A sygnału w granicach co najmniej 50-85 dB oraz jest słyszalny w strefie oczekiwania przed jezdnią oraz na przejściu przez jezdnię, do co najmniej 2/3 jej szerokości. W przypadku czasowego maskowania dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa przez hałas tła (np. w momencie przejazdu samochodu ciężarowego) nie później niż po 1 s od rozpoczęcia emisji dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa spełni on wymagania co do jego słyszalności, przez co najmniej 2 s. Błędy w wyznaczeniu amplitudy sygnału dźwiękowego nie przekraczają 1 dB, co umożliwi znacznie dokładniejsze dopasowanie poziomu ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego do hałasu panującego wokół przejścia dla pieszych.

Uwzględnienie w metodzie doboru poziomu ciśnienia akustycznego sygnału dźwiękowego zjawiska maskowania umożliwi generowanie sygnału o niższych poziomach niż w sygnalizatorach obecnie stosowanych, co przełoży się

na zmniejszenie uciążliwości hałasu docierającego do mieszkańców domów sąsiadujących z przejściem dla pieszych, a jednocześnie zapewni bezpieczny (słyszalny) poziom sygnału dźwiękowego na samym przejściu dla pieszych. Z tego względu opracowany sygnalizator dźwiękowy będzie mógł być wykorzystany w aglomeracjach miejskich, szczególnie w obszarach poziomach ciśnienia akustycznego hałasu tła poniżej 50 dB dźwięku A.

PIŚMIENNICTWO

- [1] P. Górski *Możliwości ograniczania hałasu powodowanego przez sygnalizatory dźwiękowe instalowane na przejściach na pieszych* „Bezpieczeństwo Pracy” 7-8 (454-455) 2009
- [2] P. Górski i in. *Opracowanie adaptacyjnego akustycznego sygnalizatora drogowego z modułem rejestracji danych o hałasie*. Program wieloletni pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” 2008-2010, CIOP-PIB, Warszawa 2008
- [3] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 3 lipca 2003 r. w sprawie szczegółowych warunków technicznych dla znaków i sygnałów drogowych oraz urządzeń bezpieczeństwa ruchu drogowego i warunków ich umieszczania na drogach (DzU nr 220 poz. 2181 z późn. zm.)
- [4] PN-Z-80100:2004 *Pomoc techniczne dla osób niewidomych i słabowidzących – Sygnalizacja dźwiękowa na przejściach dla pieszych z sygnalizacją świetlną*
- [5] G. Hall, A. Rabelle, C. Zabihaylo *Audible traffic signals: A new definition*. Montreal Association for the Blind, Montreal 1996
- [6] D. L. Harkey *Accessible pedestrian signals a guide to best practices*. National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, Washington 2007
- [7] PN-EN ISO 7731:2009 *Ergonomia – Sygnały bezpieczeństwa dla obszarów publicznych i obszarów pracy – Dźwiękowe sygnały bezpieczeństwa*

Publikacja opracowana na podstawie wyników I etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2008-2010 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.