



Rafał Młyński
Emil Kozłowski

OCENA OBSZARU SŁYSZALNOŚCI DŹWIĘKOWEGO SYGNAŁU BEZPIECZEŃSTWA EMITOWANEGO PRZEZ WÓZEK JEZDNIOWY

ASSESSMENT OF THE AUDIBILITY AREA OF AUDITORY
DANGER SIGNALS PRODUCED BY INDUSTRIAL TRUCK

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy / Central Institute for Labour Protection – National Research Institute,
Warszawa, Poland
Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych / Department of Vibroacoustic Hazards

STRESZCZENIE

Wstęp: Celem badań była odpowiedź na pytanie, jaki jest obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy w środowisku pracy, w którym obecny jest hałas. **Materiał i metody:** Przeprowadzono badania poziomu ciśnienia akustycznego wytwarzanego przez sygnalizator dźwiękowy wózka jezdniowego, w 12 kierunkach wokół wózka, w odległości od 2 do 10 m. Przeanalizowano, w których miejscach w otoczeniu wózka jezdniowego dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa emitowany przez ten wózek, będzie mógł być prawidłowo odebrany (zgodnie z zaleceniami normy PN-EN ISO 7731). W analizie uwzględniono 2 rodzaje hałasu zakłócającego odbiór dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. **Wyniki:** Wyznaczony obszar dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w obecności jednego z rodzajów hałasu wynosi od około 2 do 8 m przed wózkiem oraz do około 3 m z obu stron wózka. Ponadto jest on słyszalny z tyłu wózka, w zakresie od około 1,5 do 10 m i od około 3 do 7 m, odpowiednio na prawo i lewo od osi wózka, z wyłączeniem rejonu bezpośrednio za wózkiem. Natomiast, w przypadku hałasu wysokoczęstotliwościowego, pomimo jego wyższego równoważnego poziomu dźwięku A (o 12,5 dB) obszar słyszalności nie różni się istotnie. **Wnioski:** Przedstawiony sposób analizy słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa pozwolił na wyznaczenie obszarów tej słyszalności w przypadku sygnalizatora analizowanego wózka jezdniowego, w konkretnym środowisku pracy. Może on być w przyszłości zastosowany do oceny dowolnego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w środowisku pracy, w którym obecny jest hałas otoczenia. Analizowany przypadek pokazał, że możliwe jest występowanie sytuacji, kiedy stosowanie ochronników słuchu w miejscu pracy może nie mieć wpływu na obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Med. Pr. 2015;66(2):173–184

Słowa kluczowe: wózek jezdniowy, dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa, ochronniki słuchu, wypadki przy pracy, bezpieczeństwo, hałas

ABSTRACT

Background: The aim of the study was to answer the question what is the audibility area of auditory danger signal emitted by an industrial truck in the noisy environment. **Material and Methods:** The sound pressure level of the signal produced by the truck horn was measured in 12 directions around the truck, at a distance of 2 to 10 m. It was analyzed, in which places around the truck, auditory danger signal emitted by this truck can be reliably recognized (according to PN-EN ISO 7731). The analysis included 2 types of masking noise. **Results:** The calculated audibility area in the presence of one type of the noise is about 2–8 m in front of the truck and up to about 3 m on both sides of the truck. Furthermore, it is audible from the rear of the truck, in the range of about 1.5–10 m and 3–7 m, respectively on the right and left axes of the truck. In the case of high-frequency noise, despite of its higher A-weighted equivalent sound pressure level (12.5 dB), the audibility area is not significantly different. **Conclusions:** The presented method of analysis allowed to determine the audibility area of auditory danger signal in the case of considered industrial truck, at the specific workplace. This method can be used in the future to evaluate any auditory danger signal at the workplace, where noise is present. The case study showed that it is possible to encounter a situation where the use of hearing protection devices at the workplace cannot affect the audibility area. Med Pr 2015;66(2):173–184

Key words: industrial truck, auditory danger signal, hearing protection devices, accidents, safety, noise

Autor do korespondencji / Corresponding author: Rafał Młyński, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Zakład Zagrożeń Wibroakustycznych, ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa, e-mail: rmlynski@ciop.pl
Nadesłano: 15 października 2014, zatwierdzono: 25 marca 2015

WSTĘP

Według danych GUS w 2013 r. na stanowiskach pracy zaliczanych (zgodnie z Polską Klasyfikacją Działalności – PKD) do sekcji „Transport i gospodarka magazynowa” uszkodzonymi było ponad 6000 osób, w tym śmierć poniosło 38 osób [1]. Jedną z najczęstszych przyczyn wypadków w magazynie są najeżdżania lub przygniecenia pracowników przez wózki jezdniowe, powszechnie nazywane wózkami widłowymi. Przyczynami wypadków z udziałem wózków jezdniowych są natomiast nieusłyszenie ich przez pracownika, spowodowane tym, że wózek jest za cichy lub pracuje w głośnym środowisku, brak odpowiedniego oddzielenia od siebie dróg przemieszczania się pojazdu i ludzi oraz brak odpowiedniej widoczności z pozycji operatora wózka [2,3].

Jednym ze sposobów zmniejszania liczby niebezpiecznych wydarzeń jest wyposażenie wózków jezdniowych w sygnalizator dźwiękowy, który emituje sygnał bezpieczeństwa umożliwiając usłyszenie go nawet w hałasie o wysokim poziomie [4]. Odbiór dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa jest możliwy jednak wtedy, gdy zostanie on odpowiednio zaprojektowany [4–7]. Należy także mieć na uwadze, że praca w hałasie o wysokim poziomie często wymaga stosowania ochronników słuchu, co może jeszcze bardziej pogorszyć odbieranie dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa [4,8–11].

Celem badań przedstawionych w niniejszym artykule była odpowiedź na pytanie, jaki jest obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy w środowisku pracy, w którym występuje hałas, oraz czy stosowanie ochronników słuchu może pogorszyć słyszalność tego sygnału. W tym celu przeprowadzono pomiary poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy w 12 kierunkach wokół niego, w odległości 2–10 m od wózka, w środowisku jego eksploatacji. Zmierzono również poziom ciśnienia akustycznego hałasu tła w obszarze przemieszczania się wózka jezdniowego.

Uzyskane dane wykorzystano do wyznaczenia obszarów, w których dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa powinien być prawidłowo odebrany przez pracownika, w przypadku braku ochronników słuchu oraz podczas ich stosowania. Przeprowadzono obliczenia metodologii przedstawionej w normie PN-EN ISO 7731:2009 poświęconej dźwiękowym sygnałom bezpieczeństwa dla obszarów publicznych i obszarów pracy [4].

MATERIAŁ I METODY

Obiekt badań i miejsce ich przeprowadzenia

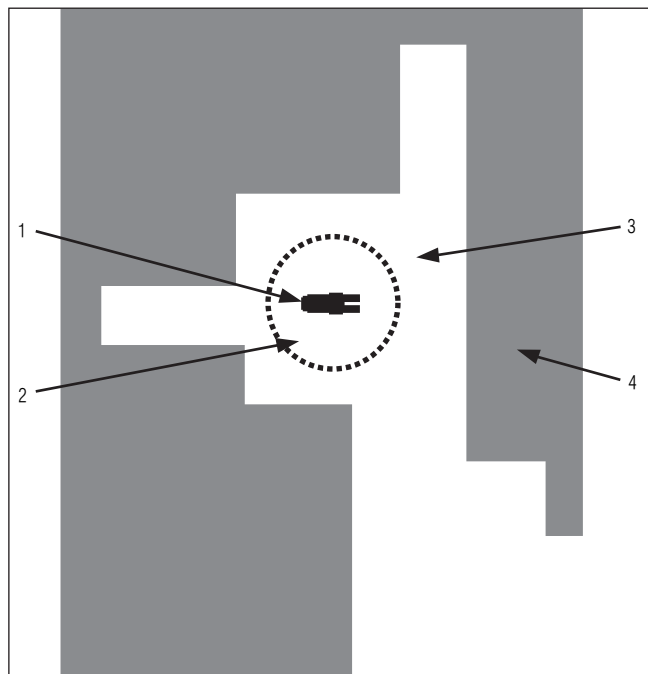
Pomiary poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa przeprowadzono w przypadku wózka jezdniowego (fot. 1) o udźwigu 2500 kg.



Fot. 1. Wózek jezdniowy
Photo 1. Industrial truck

Badania przeprowadzono w obszarze produkcyjnym, gdzie wytyczone były szlaki do transportu materiału z użyciem wózków jezdniowych. Podłoże, po którym poruszały się wózki, było wykonane z betonu, natomiast wokół dróg transportowych znajdowały się metalowe objekty o dużych gabarytach, odbijające fale dźwiękowe. Otoczenie miejsca prowadzenia pomiarów schematycznie przedstawiono na rycinie 1.

Do celów niniejszej pracy przeprowadzono również pomiary poziomu ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości w przypadku 2 rodzajów hałasu obecnych w miejscu pracy, w którym przeprowadzano badania.



1 – wózek jezdniowy / industrial truck, 2 – obszar, w którym przeprowadzono badania dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa wózka jezdniowego / the area where the tests of auditory danger signal of industrial truck were conducted, 3 – powierzchnia, po której może przemieszczać się wózek jezdniowy / the area where the truck moves, 4 – obszar poza alejkami przeznaczonymi dla wózków jezdniowych, gdzie znajdowały się przedmioty odbijające fale dźwiękowe / the area outside lanes intended for industrial trucks where objects reflecting sound waves were located.

Ryc. 1. Miejsce przeprowadzania badań
Fig. 1. Test area

Układ pomiarowy i sposób przeprowadzania badań

Układ pomiarowy wykorzystywany do pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy składał się z mikrofonu Brüel & Kjær 4190 (1/2") z przedwzmacniaczem mikrofonowym Brüel & Kjær 2669 i kasyety pomiarowej Brüel & Kjær PULSE (prod. Brüel & Kjær, Dania).

Każda wartość poziomu ciśnienia akustycznego charakteryzująca dźwiękową sygnalizację bezpieczeństwa wózka jezdniowego była uzyskana na podstawie uśrednienia rezultatów 3 pomiarów. Spełniony był przy tym warunek określony w normie dotyczącej metody pomiaru emisji hałasu przez wózki jezdniowe [12], zgodnie z którą różnica między wynikami pojedynczych pomiarów powinna być mniejsza od 2 dB.

Mikrofon pomiarowy podczas badań umieszczano w statywie na wysokości 1,5 m [12]. Pomiar poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy przeprowadzono w odległościach: 2 m, 4 m, 8 m i 10 m,

mierzonych od skraju wózka z pominięciem jego widel [12]. Badania wykonano w 12 równomiernie rozłożonych kierunkach, co 30°.

W ramach badań przeprowadzono pomiary równoważnego poziomu dźwięku A oraz poziomu ciśnienia akustycznego w oktaowych pasmach częstotliwości dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy w warunkach braku hałasu otoczenia.

Kryterium oceny słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa

Kryteria odnoszące się do rozpoznawania dźwiękowych sygnałów bezpieczeństwa, w szczególności w przypadku hałasu otoczenia o wysokim poziomie, podano w normie PN-EN ISO 7731:2009 [4]. Zgodnie z założeniami tej normy dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa powinien niezawodnie zwrócić uwagę na zagrożenie, także w sytuacji noszenia ochronników słuchu, bez spowodowania przestraszenia osoby. Dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa powinien spełniać wiele dodatkowych wymagań dotyczących m.in. słyszalności i możliwości odróżniania go od innych dźwięków.

Spełnienie warunku słyszalności oznacza, że w obszarze odbioru dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa równoważny poziom dźwięku A nie powinien być niższy niż 65 dB. Powinien być spełniony także 2 warunek, który uwzględnia relację między parametrami hałasu otoczenia a parametrami dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Spełnienie tego warunku wymaga prowadzenia analizy w oparciu o równoważny poziom dźwięku A lub poziom ciśnienia akustycznego w pasmach oktaowych albo tercjowych częstotliwości.

W przypadku równoważnego poziomu dźwięku A dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa i hałasu otoczenia różnica między tymi poziomami musi przekraczać 15 dB. Z kolei poziom ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w co najmniej jednym pasmie oktaowym częstotliwości musi przewyższać tzw. równoważny próg słyszenia (wyznaczany na podstawie poziomu ciśnienia akustycznego zmierzonego w pasmach oktaowych dla hałasu tła) w tej samej oktawie o co najmniej 10 dB.

Analiza z podziałem na pasma częstotliwości uwzględniająca charakter częstotliwościowy hałasu otoczenia sprawia, że można zastosować sygnał bezpieczeństwa o niższym poziomie niż w przypadku mniej precyzyjnej analizy, w której wykorzystuje się równoważny poziom dźwięku A.

W niniejszej pracy ocenę dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa prowadzono w pasmach oktaowych,

co poza omówionym wyżej poziomem sygnału bezpieczeństwa pozwoliło uwzględnić w analizie charakterystykę tłumienia dźwięku ochronników słuchu stosowanych na jednym ze stanowisk pracy.

W przypadku analizy prowadzonej w oktaowych pasmach częstotliwości można więc wyznaczyć wartość graniczną poziomu ciśnienia akustycznego $L_{S(n)}$ w n -tym pasmie oktaowym – w którym emitowany jest dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa – korzystając z zależności [1]:

$$L_{S(n)} = L_{T(n)} + 10 \text{ dB} \quad (1)$$

gdzie:

$L_{T(n)}$ – wartość równoważnego progu słyszenia w pasmie oktaowym, w którym generowany jest dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa;

n – numer rozpatrywanego pasma oktaowego.

Jak już wspomniano, równoważny próg słyszenia (L_T) wyznaczany jest na podstawie poziomu ciśnienia akustycznego L_N , zmierzonego w pasmach oktaowych dla hałasu otoczenia [4]. Odzwierciedla on możliwość usłyszenia dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w obecności hałasu o określonych parametrach, przy uwzględnieniu zjawiska maskowania. Równoważny próg słyszenia w przypadku oktawy o najniższej rozpatrywanej częstotliwości środkowej (63 Hz) jest równy wartości poziomu ciśnienia akustycznego charakteryzującego hałas w tej oktawie:

$$L_{T(1)} = L_{N(1)} \quad (2)$$

gdzie:

1 – najniższa uwzględniona w pomiarach częstotliwość środkowa pasma oktaowego.

Dla oktaw o pozostałych częstotliwościach środkowych (125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 Hz) równoważny próg słyszenia wyznacza się na podstawie zależności [3]:

$$L_{T(i)} = \text{maksimum} (L_{N(i)}, L_{T(i)} - 7,5 \text{ dB}) \quad (3)$$

gdzie:

$i = 2-8$ – numer oktawy o częstotliwości środkowej z zakresu odpowiednio od 125 Hz do 8000 Hz.

W przypadku stosowania ochronników słuchu wyznaczenie równoważnego progu słyszenia należy poprzedzić uwzględnieniem charakterystyki tłumienia dźwięku M_f (wartości średnie) tych ochronników. Zmierzone wartości poziomu ciśnienia akustycznego charakteryzującego hałas L_N w pasmach oktaowych należy skorygować o wartości tłumienia dźwięku, wyznaczając wartość L'_N zgodnie z zależnością [4]. Obliczone na podstawie L'_N wartości równoważnego progu słyszenia oznaczane są symbolem L'_T .

$$L'_N = L_N - M_f \quad (4)$$

Ponadto analiza z uwzględnieniem stosowania ochronnika słuchu musi zawierać inny sposób wyznaczenia wartości granicznej poziomu ciśnienia akustycznego L_S [5]:

$$L_{S(n)} = L'_{T(n)} + M_{f(n)} + 10 \text{ dB} \quad (5)$$

gdzie:

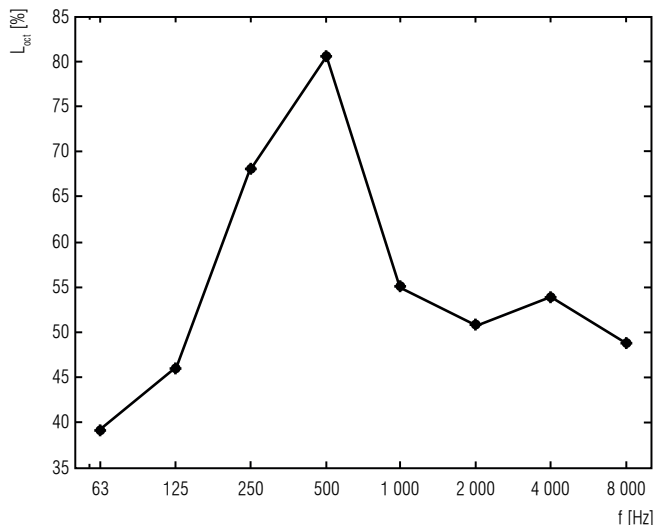
$M_{f(n)}$ – wartość średnia tłumienia dźwięku ochronnika słuchu w pasmie oktaowym, w którym emitowany jest dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa,

n – numer rozpatrywanego pasma oktaowego.

Ostatecznie dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa w określonym miejscu można uznać za słyszalny, kiedy równoważny poziom dźwięku A sygnału bezpieczeństwa w tym miejscu będzie przekraczał 65 dB, a jednocześnie poziom ciśnienia akustycznego w n -tym pasmie oktaowym, w którym generowany jest dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa, będzie przekraczał wartość graniczną poziomu ciśnienia akustycznego $L_{S(n)}$. W związku z tym w dalszej części niniejszej pracy przeanalizowano słyszalność dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez wózek jezdniowy z uwzględnieniem obu wymienionych warunków.

WYNIKI

Na rycinie 2. zamieszczono wartości poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa wózka jezdniowego, zmierzone w pasmach oktaowych na wprost wózka, w odległości 8 m od niego. Wyniki tego pomiaru wskazują, że dominujący zakres częstotliwości emitowanego sygnału dźwiękowego przypada na oktawę o częstotliwości środkowej 500 Hz.



f – częstotliwość środkowa pasma oktawowego / octave-band center frequency.

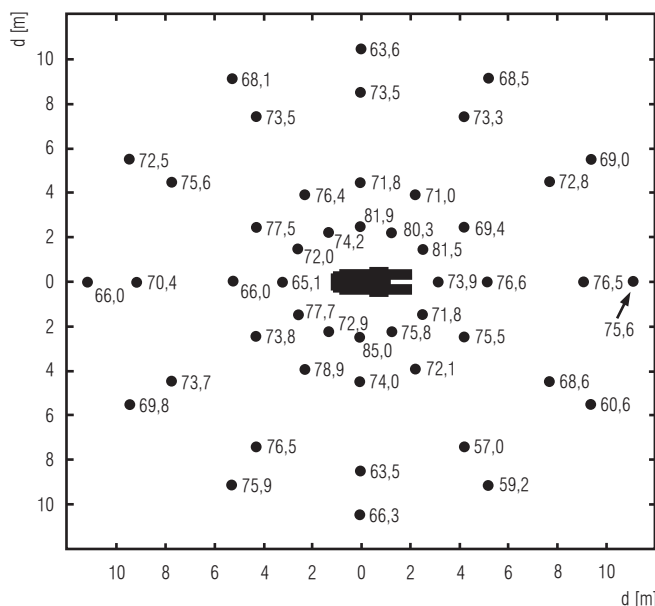
Ryc. 2. Poziom ciśnienia akustycznego (L_{oct}) w pasmach oktawowych dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa wózka jezdniowego na wprost wózka, w odległości 8 m
Fig. 2. Octave-band sound pressure levels (L_{oct}) for auditory danger signal of industrial truck in front of the truck, in the distance of 8 m

Podobny rozkład poziomu ciśnienia akustycznego w poszczególnych pasmach częstotliwości uzyskano we wszystkich punktach pomiarowych. Zgodnie z zaleceniami normy dotyczącej dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa [4] w dalszej części niniejszej pracy analizę słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa przeprowadzono dla oktawy o częstotliwości środkowej 500 Hz.

Na rycinie 3. zamieszczono wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A w poszczególnych punktach pomiarowych wokół wózka jezdniowego, natomiast na rycinie 4. – wyniki pomiarów poziomu ciśnienia akustycznego w pasmie oktawowym o częstotliwości środkowej 500 Hz.

Dane z poszczególnych punktów pomiarowych, przedstawione na rycinie 3., zostały interpolowane w celu uzyskania rozkładu wartości równoważnego poziomu dźwięku A na płaszczyźnie wokół wózka jezdniowego. Istotną przy tym była odpowiedź na pytanie, w których miejscach wokół wózka nie jest spełniony pierwszy warunek słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. W związku z tym wyznaczono strefy, w których równoważny poziom dźwięku A sygnału bezpieczeństwa nie przekracza 65 dB, a więc należy wykluczyć je z obszaru słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Strefy wyłączone z obszaru słyszalności zaznaczono na rycinie 5.

W odległości co najmniej 5 m od środka wózka jezdniowego, we wszystkich kierunkach wokół niego, spełniony jest warunek przekraczania wartości 65 dB

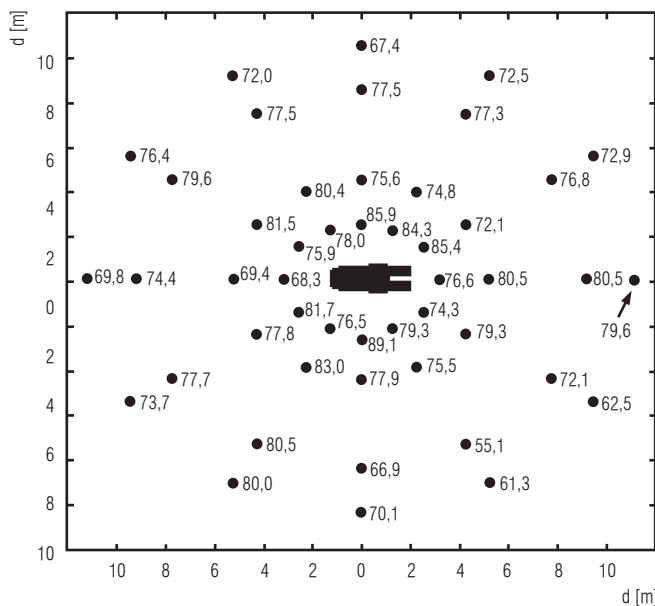


d – odległość od środka wózka jezdniowego / distance from the center of the industrial truck.

• punkty pomiarowe / measurement points.

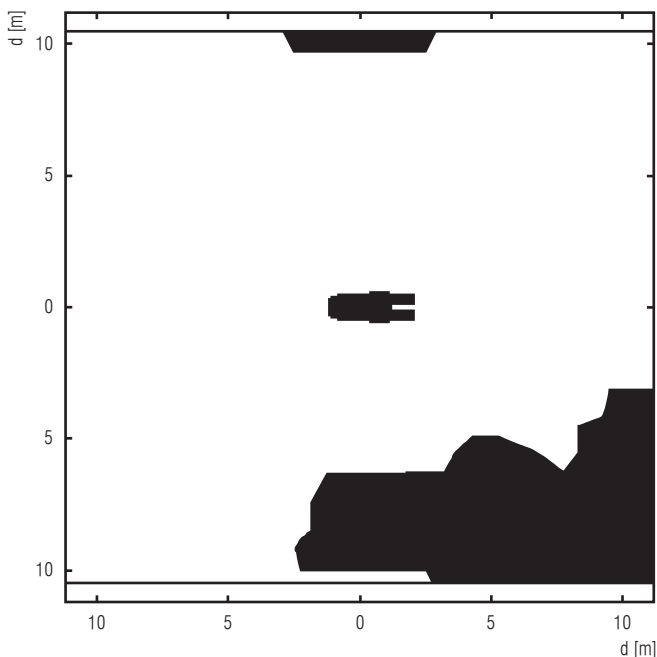
Wartości na rysunku w poszczególnych punktach pomiarowych wyrażone są w decybelach / Values in the figure at individual measurement points are expressed in decibels.

Ryc. 3. Równoważny poziom dźwięku A w poszczególnych punktach pomiarowych wokół wózka jezdniowego [dB]
Fig. 3. The A-weighted equivalent sound pressure level at individual measurement points around the truck [dB]



Objaśnienia jak na rycinie 3 / Abbreviations as in Figure 3.

Ryc. 4. Poziom ciśnienia akustycznego w pasmie oktawowym o częstotliwości 500 Hz w poszczególnych punktach pomiarowych wokół wózka jezdniowego [dB]
Fig. 4. 500 Hz octave-band sound pressure level at individual measurement points around the truck [dB]



Objaśnienia jak na rycinie 3 / Abbreviations as in Figure 3.

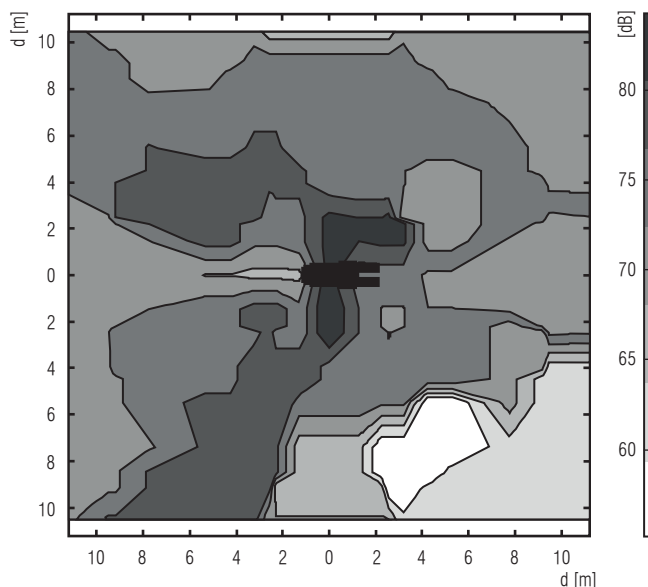
Ryc. 5. Strefy wyłączone z obszaru słyszalności (kolor czarny) ze względu na ocenę równoważnego poziomu dźwięku A
Fig. 5. Zones excluded from the audibility area (black) due to the assessment of A-weighted equivalent sound pressure level

równoważnego poziomu dźwięku A. Z kolei strefa, w której równoważny poziom dźwięku A nie przekraczał 65 dB, znajduje się w kierunku na prawo od wózka, co było spowodowane otwartą przestrzenią, w której nie znajdowały się obiekty odbijające fale dźwiękowe.

Podobnie jak w przypadku analizy warunku dotyczącego poziomu dźwięku A interpolację danych pomiarowych przeprowadzono również w odniesieniu do danych zmierzonych w pasmie oktawowym o częstotliwości środkowej 500 Hz, w którym znajdują się dominujące składowe sygnały bezpieczeństwa. Zgodnie z oczekiwaniami rozkład poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego w oktawie o częstotliwości środkowej 500 Hz potwierdził wyniki pomiarów równoważnego poziomu dźwięku A.

Wartości poziomu ciśnienia akustycznego przedstawione na rycinie 6. są najniższe w tym samym obszarze, w którym znajduje się strefa niskiego poziomu zaznaczona na rycinie 5. Ponadto analizując rozkład poziomów przedstawiony na rycinie 6., można zauważyć, że najwyższy poziom dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa występuje po bokach wózka jezdniowego i na wprost przed nim.

W obszarze, w którym przeprowadzano badania na potrzeby niniejszej pracy, wytwarzane były 2 rodzaje hałasu. W tabeli 1. zamieszczono zmierzone wartości



Objaśnienia jak na rycinie 3 / Abbreviations as in Figure 3.

Ryc. 6. Rozkład poziomu ciśnienia akustycznego (oktawa 500 Hz) na płaszczyźnie wokół wózka jezdniowego [dB]
Fig. 6. Distribution of the octave-band sound pressure level (500 Hz) on the surface around the industrial truck [dB]

Tabela 1. Parametry hałasu tła
Table 1. Parameters of the ambient noise

Parametr Parameter	Poziom ciśnienia akustycznego vs częstotliwość środkowa pasma oktawowego Sound pressure level vs. octave-band center frequency [dB]							Równoważny poziom dźwięku A A-weighted equivalent sound pressure level [dB]	
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz		8000 Hz
L_{NI}	73,9	70,6	70,6	70,2	66,8	64,5	59,0	55,6	72,2
$L_{NI,2}$	70,9	67,6	67,6	67,2	63,8	61,5	56,0	52,6	69,2
$L_{NI,3}$	67,9	64,6	64,6	64,2	60,8	58,5	53,0	49,6	66,2
L_{N2}	50,6	53,5	59,5	68,6	72,7	75,9	77,3	79,5	84,7

L_{NI} – hałas tła w przypadku źródła 1 / ambient noise in the case of source 1, $L_{NI,2}$ – źródło 1 z korekcją 3 dB / source 1 with 3 dB correction, $L_{NI,3}$ – źródło 1 z korekcją 6 dB / source 1 with 6 dB correction, L_{N2} – hałas tła w przypadku źródła 2 / ambient noise in the case of source 2.

poziomu ciśnienia akustycznego w pasmach oktawowych i równoważnego poziomu dźwięku A w przypadku obu rodzajów źródeł hałasu (symbole L_{N1} oraz L_{N2}). Ponadto w tabeli zamieszczono analogiczne zestawy wartości, oznaczone symbolami $L_{N1,2}$ i $L_{N1,3}$. Dane te uzyskano w wyniku obniżenia odpowiednio o 3 dB i o 6 dB poziomu ciśnienia akustycznego we wszystkich pasmach częstotliwości, który zmierzono w przypadku źródła L_{N1} . Te 2 dodatkowe zestawy danych sporządzono w celu rozważenia, jak ograniczenie hałasu w miejscu pracy wpłynęłoby na zmianę obszaru słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa.

Dalsza analiza słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa wymagała obliczenia wartości równoważnego progu słyszenia zgodnie z zależnościami 2 i 3. W przypadku wszystkich 4 analizowanych zestawów danych pomiarowych (L_{N1} , $L_{N1,2}$, $L_{N1,3}$, L_{N2}), zamieszczonych w tabeli 1., poziom ciśnienia akustycznego w kolejnych pasmach oktawowych nie jest niższy o więcej niż 7,5 dB względem poprzedniego pasma. Stąd równoważny próg słyszenia we wszystkich 4 rozpatrywanych przypadkach jest tożsamy z wartościami poziomu ciśnienia akustycznego charakteryzującymi te sygnały, zamieszczonymi w tabeli 1.

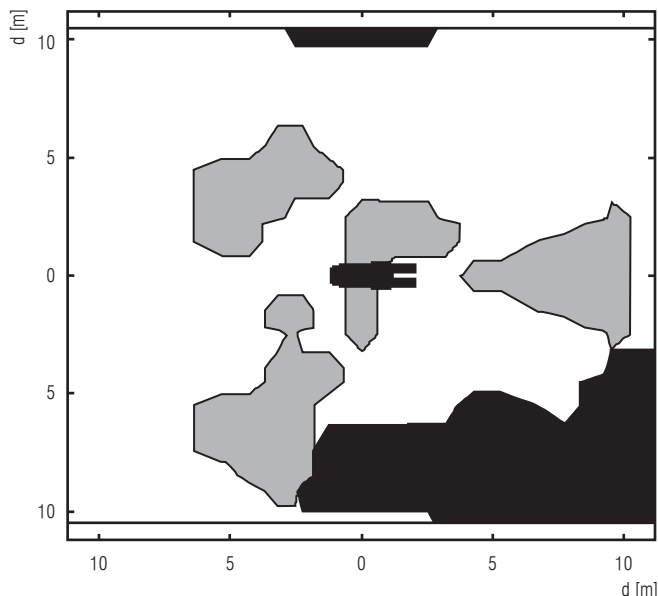
Tabela 2. Wartość graniczna poziomu ciśnienia akustycznego (L_s) w przypadku hałasu tła
Table 2. Limit value of sound pressure level (L_s) in the case of ambient noise

Parametr Parameter	L_s [dB]
L_{N1}	80,2
$L_{N1,2}$	77,2
$L_{N1,3}$	74,2
L_{N2}	78,6

Skróty jak w tabeli 1 / Abbreviations as in Table 1.

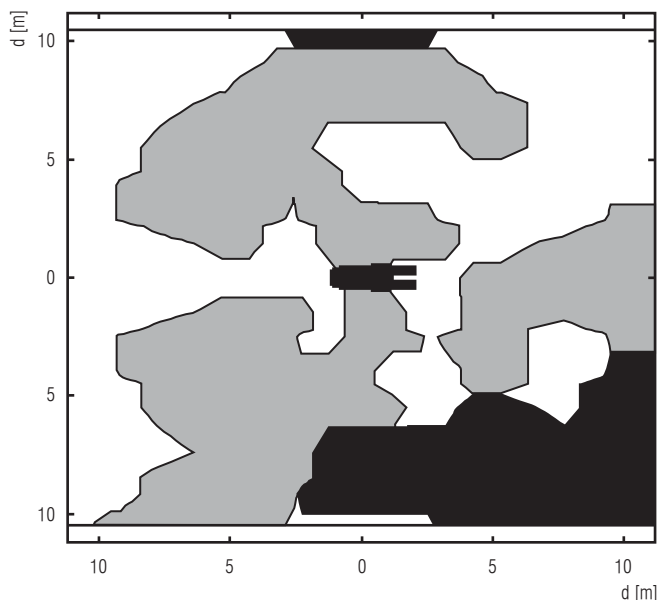
Następnie zgodnie z zależnością [1] obliczono wartość graniczną poziomu ciśnienia akustycznego L_s w 4. pasmie oktawowym o częstotliwości środkowej 500 Hz. Otrzymane wartości L_s w przypadku danych hałasu oznaczonych symbolami L_{N1} , $L_{N1,2}$, $L_{N1,3}$, L_{N2} zamieszczono w tabeli 2.

Obszary słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa wyznaczono na podstawie interpolacji danych pomiarowych zamieszczonych na rycinach 3. i 4. oraz wartości L_s . Rezultaty analiz zaprezentowano graficznie na rycinach 7–10., odpowiednio dla danych dotyczących hałasu: L_{N1} , $L_{N1,2}$, $L_{N1,3}$, L_{N2} .



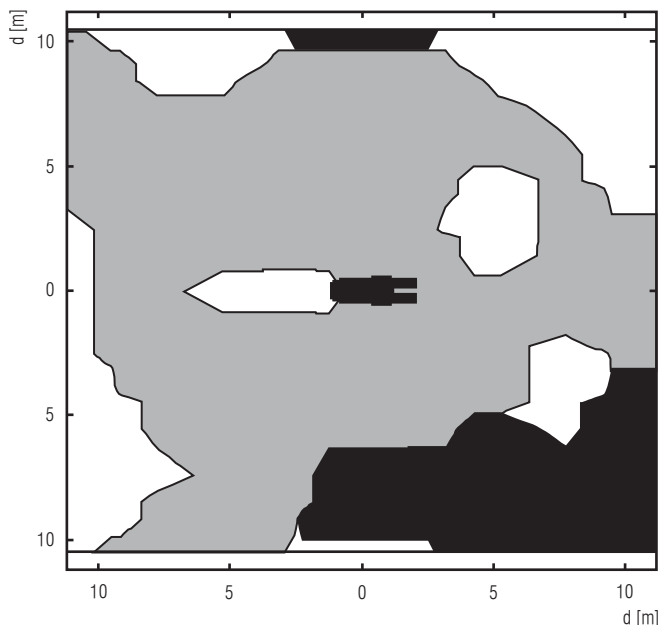
Objaśnienia jak w tabeli 1 i na rycinie 3 / Abbreviations as in Table 1 and Figure 3.

Ryc. 7. Obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa (kolor szary) w obecności hałasu tła L_{N1} (powierzchnie koloru czarnego oznaczają strefy wyłączone z obszaru słyszalności ze względu na ocenę równoważnego poziomu dźwięku A [dB])
Fig. 7. Audibility area (gray) of the auditory danger signal in the presence of ambient noise L_{N1} (black surfaces indicate zones excluded from the audibility area due to the assessment of A-weighted equivalent sound pressure level [dB])



Objaśnienia jak w tabeli 1 i na rycinie 3 / Abbreviations as in Table 1 and Figure 3.

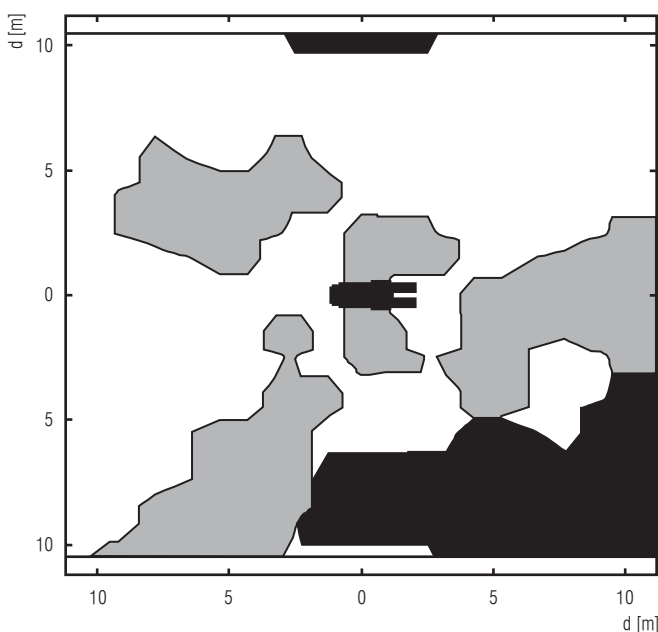
Ryc. 8. Obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa (kolor szary) w obecności hałasu tła $L_{N1,2}$ [dB] (powierzchnie koloru czarnego oznaczają strefy wyłączone z obszaru słyszalności ze względu na ocenę równoważnego poziomu dźwięku A)
Fig. 8. Audibility area (gray) of the auditory danger signal in the presence of ambient noise $L_{N1,2}$ [dB] (black surfaces indicate zones excluded from the audibility area due to the assessment of A-weighted equivalent sound pressure level)



Objaśnienia jak w tabeli 1 i na rycinie 3 / Abbreviations as in Table 1 and Figure 3.

Ryc. 9. Obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa (kolor szary) w obecności hałasu tła $L_{N1,3}$ [dB] (powierzchnie koloru czarnego oznaczają strefy wyłączone z obszaru słyszalności ze względu na ocenę równoważnego poziomu dźwięku A)

Fig. 9. Audibility area (gray) of the auditory danger signal in the presence of ambient noise $L_{N1,3}$ [dB] (black surfaces indicate zones excluded from the audibility area due to the assessment of A-weighted equivalent sound pressure level)



Objaśnienia jak w tabeli 1 i na rycinie 3 / Abbreviations as in Table 1 and Figure 3.

Ryc. 10. Obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa (kolor szary) w obecności hałasu tła L_{N2} [dB] (powierzchnie koloru czarnego oznaczają strefy wyłączone z obszaru słyszalności ze względu na ocenę równoważnego poziomu dźwięku A)

Fig. 10. Audibility area (gray) of the auditory danger signal in the presence of ambient noise L_{N2} [dB] (black surfaces indicate zones excluded from the audibility area due to the assessment of A-weighted equivalent sound pressure level)

Dane przedstawione na rycinie 7. wskazują, że obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa wózka jezdniowego jest mocno ograniczony. Nawet w bliskiej odległości od wózka znajdują się miejsca, w których pieszy może nie usłyszeć sygnału bezpieczeństwa w obecności hałasu otoczenia. Dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa jest słyszalny w ograniczonym zakresie przestrzeni z przodu wózka jezdniowego w odległości od wideł wózka wynoszącej od około 2 m do co najmniej 8 m. Ponadto obszar słyszalności znajduje się z obu stron wózka i jego zasięg nie wynosi więcej niż 3 m od krawędzi wózka. Dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa z tyłu wózka jest słyszalny z jego prawej strony w odległości od około 1,5 m do 10 m oraz z lewej strony w odległości 3–7 m, z wyłączeniem obszaru bezpośrednio za wózkiem.

Analizując powierzchnie obszarów słyszalności zaznaczonych na rycinach 7–9., można zauważyć, że ograniczenie poziomu hałasu istotnie wpływa na zwiększenie obszaru wokół wózka jezdniowego, w którym dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa może być poprawnie odebrany. W przypadku obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego we wszystkich pasmach częstotliwości o 3 dB dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa jest słyszalny w obszarze o promieniu około 10 m, z wyłączeniem przestrzeni bezpośrednio za wózkiem i części przestrzeni z przodu wózka (na lewo i prawo od osi wózka). Zmniejszenie poziomu ciśnienia akustycznego o kolejne 3 dB skutkuje zawężeniem rejonów, w których dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa nie jest słyszalny.

Wyłączone ze słyszalności są:

- obszar w odległości do około 5 m bezpośrednio z tyłu wózka,
- obszar o średnicy do około 4 m z przodu wózka na lewo od jego osi,
- obszar w odległości powyżej 7 m od wózka, z jego boku oraz z przodu na prawo.

Z kolei, porównując ryciny 7. i 10., należy stwierdzić, że mimo że hałas oznaczony symbolem L_{N2} charakteryzuje się równoważnym poziomem dźwięku A – większym o 12,5 dB względem hałasu L_{N1} – to obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w obecności hałasu L_{N2} jest nawet nieznacznie większy niż w przypadku hałasu L_{N1} .

Równoważny poziom dźwięku A nie jest więc parametrem, który najlepiej pozwala scharakteryzować hałas w celu oceny obszaru słyszalności sygnału bezpieczeństwa w hałasie o nierównomiernym rozkładzie w dziedzinie częstotliwości. Hałas L_{N2} jest wysokoczęstotliwościowy, dlatego bardziej miarodajna okazała się analiza

poziomu ciśnienia akustycznego. W oktawie o częstotliwości środkowej 500 Hz poziom ten w przypadku o hałasie L_{N2} , był o 1,6 dB niższy niż w odniesieniu do hałasu L_{N1} .

Analiza słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w przypadku stosowania ochronników słuchu jest analogiczna do sytuacji, w której nie są one używane. Równoważny próg słyszenia L'_T jest jednak wyznaczany na podstawie danych charakteryzujących hałas, skorygowanych zgodnie ze wzorem 4., a wartość L_S obliczana

nia [9,13], natomiast tematyka dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa w odniesieniu do pojazdów jest poruszana rzadziej i ogranicza się głównie do sygnału jazdy wstecz [14].

Zastosowany w niniejszej pracy sposób oceny słyszalności dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa pozwolił wyznaczyć obszary słyszalności dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa w przypadku wózka jezdniowego w środowisku pracy, w którym występował hałas otoczenia. Osiągnięto również drugi cel postawiony w pracy,

Tabela 3. Analiza słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w przypadku stosowania ochronników o tłumieniu dźwięku M_f (wartości średnie)

Table 3. Analysis of audibility of auditory danger signal in case of using hearing protector devices that are characterized by sound attenuation M_f (mean attenuation values)

Parametr Parameter	Poziom ciśnienia akustycznego vs częstotliwość środkowa pasma oktawowego Sound pressure level vs. octave-band center frequency [dB]							
	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 000 Hz	2 000 Hz	4 000 Hz	8 000 Hz
L_{N2}	50,6	53,5	59,5	68,6	72,7	75,9	77,3	79,5
M_f	11,4	11,4	18,7	27,5	32,9	33,6	36,6	35,9
L'_N	39,2	42,1	40,8	41,1	39,8	42,3	40,7	43,6
L'_T	39,2	42,1	40,8	41,1	39,8	42,3	40,7	43,6
L_S				78,6				

L_{N2} – hałas tła w przypadku źródła 2 / ambient noise in the case of source 2, L'_N – hałas tła L_{N2} skorygowany o wartości tłumienia dźwięku M_f / ambient noise L_{N2} with sound attenuation M_f correction, L'_T – równoważny próg słyszenia / effective masked threshold, L_S – wartość graniczna poziomu ciśnienia akustycznego / limit value of sound pressure level.

na podstawie zależności 5. Wyniki uzyskiwane w kolejnych etapach analizy, włącznie z wartościami tłumienia dźwięku M_f (wartości średnie) stosowanego ochronnika słuchu, zamieszczono w tabeli 3.

W przypadku stosowania ochronnika słuchu o tłumieniu dźwięku M_f w obecności hałasu L_{N2} zmiana percepcji związana ze stosowaniem tego ochronnika jest jednakowa w przypadku zarówno hałasu tła (dla oktawy o częstotliwości środkowej: 500 Hz), jak i dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Świadczą o tym wartości równoważnego progu słyszenia L'_T równe wartościom L'_N charakteryzującym hałas. Uzyskana w przypadku stosowania tego ochronnika wartość L_S jest więc równa wartości tej wielkości w przypadku niestosowania ochronnika słuchu (porównaj ostatni wiersz tabeli 2.).

OMÓWIENIE

Zagadnienia dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa są najczęściej poruszane w kontekście jej projektowa-

polegający na sprawdzeniu wpływu stosowania ochronników słuchu.

W przypadku analizowanego miejsca pracy stosowanie ochronników słuchu nie pogorszało słyszalności sygnału bezpieczeństwa, co (jak wspomniano we wstępie) nie jest regułą. Ponieważ w określonych sytuacjach stosowanie ochronników słuchu może wiązać się z pogorszeniem możliwości percepcji sygnałów bezpieczeństwa, opracowano ochronniki słuchu, które pozwalają na poprawę możliwości percepcji dźwięków mimo przebywania pracownika w hałasie. Ochronniki te wyposażono w układy elektroniczne służące do wykrywania dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa i alarmowania pracownika [11].

Kryterium oceny słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa zastosowane w niniejszej pracy oparto na zaleceniach normy PN-EN ISO 7731:2009 [4]. Zgodnie z nimi równoważny poziom dźwięku A dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa – niezależnie od poziomu hałasu otoczenia – musi przewyższać ten poziom o co

najmniej 15 dB, a w przypadku analizy w pasmach oktawowych częstotliwości – o 10 dB. Mimo że kryterium to niejednokrotnie stosowano w zagadnieniach związanych z dźwiękową sygnalizacją bezpieczeństwa [11,15], należy pamiętać, że wymóg dotyczący różnicy poziomu sygnału bezpieczeństwa i poziomu hałasu otoczenia niezależny od poziomu hałasu jest uproszczeniem w analizie problemu słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. A to dlatego, że badania dotyczące tego problemu pokazały, że w przypadku hałasu o poziomie 60 dB osoby biorące udział w badaniu jako najkorzystniejszy poziom sygnału bezpieczeństwa określały sygnał przewyższający poziom hałasu o 10–20 dB. W przypadku hałasu o poziomie 90 dB osoby biorące udział w badaniu jako najkorzystniejszy wskazywały poziom sygnału bezpieczeństwa, który był równy poziomowi hałasu [16].

Ocena słyszalności dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa wózka jezdniowego przeprowadzona w niniejszej pracy wskazała na istotną nierównomierność poziomu dźwięku tej sygnalizacji w zależności od kierunku i odległości punktu pomiarowego od wózka. Uzyskany rozkład powierzchniowy poziomu ciśnienia akustycznego w oktawie, w której emitowany był sygnał akustyczny, w powiązaniu z rozkładem przestrzennym alejek i innych obiektów wokół wózka jezdniowego, jest podstawą do stwierdzenia, że bezpośrednio otoczenie wózka silnie wpływa na poziom dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Należy bowiem zauważyć, że poziom ciśnienia akustycznego w punktach położonych w obszarze, za którym znajdowała się pusta alejka, był o około 25 dB niższy niż w obszarze, w którego bezpośrednim sąsiedztwie znajdowały się obiekty odbijające fale dźwiękowe.

Wyniki przeprowadzonych obliczeń wskazały, że 2 warunki kryterium oceny słyszalności dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa – 1) przekraczania równoważnego poziomu dźwięku A, 2) odpowiednio wyższego poziomu ciśnienia akustycznego sygnału bezpieczeństwa względem poziomu hałasu otoczenia – nie dały sprzecznych wyników. To dlatego, że strefa wyłączona z obszaru słyszalności ze względu na ocenę równoważnego poziomu dźwięku A (warunek 1) zawierała się w obszarze braku słyszalności wyznaczonym na podstawie pomiaru poziomu ciśnienia akustycznego w pasmie oktawowym częstotliwości (warunek 2).

Wiadomo, że hałas otoczenia wpływa na możliwość odbierania przez człowieka sygnału użytecznego i może istotnie ją ograniczać. Należy przy tym pamiętać, że rów-

noważny poziom dźwięku A, który charakteryzuje ten hałas, nie ma pierwszorzędного znaczenia w ocenie słyszalności sygnału dźwiękowego. Istotny jest poziom ciśnienia akustycznego w pasmie (bądź pasmach) częstotliwości, w którym emitowany jest dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa. Potwierdziły to wyniki wyznaczania obszarów słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w przypadku obecności 2 rodzajów hałasu, z których jeden był wysokoczęstotliwościowy i miał większą wartość równoważnego poziomu dźwięku A.

Obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa zakłócanego przez wysokoczęstotliwościowy hałas był jednak większy niż w przypadku hałasu o mniejszej wartości równoważnego poziomu dźwięku A. Hałas wysokoczęstotliwościowy charakteryzował się jednak niższym poziomem ciśnienia akustycznego w pasmie częstotliwości, w którym znajdowała się dominująca składowa dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa, uwzględnionego w badaniach wózka jezdniowego.

Należy także zwrócić uwagę na występowanie cienia akustycznego, który wynika z obecności elementów wózka jezdniowego – osłony silnika i karetki wózka z widłami. To dlatego, że analizując przedstawiony graficznie rozkład poziomu ciśnienia akustycznego dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa wokół wózka jezdniowego można zauważyć około 10-decybelowy spadek poziomu tego sygnału z tyłu wózka, tuż za osłoną silnika, względem poziomu sygnału w sąsiednich obszarach.

Stosowanie ochronników słuchu w miejscu pracy nie musi negatywnie wpływać na słyszalność dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Jeśli poziom ciśnienia akustycznego hałasu otoczenia i charakterystyki tłumienia dźwięku ochronnika słuchu nie różnił się istotnie między sąsiednimi pasmami częstotliwości, obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w przypadku niestosowania ochronnika słuchu pokrywał się z obszarem wyznaczonym w przypadku użytkownika ochronnika.

Należy przy tym pamiętać, że w niektórych sytuacjach – w przypadku określonych wartości poziomu ciśnienia akustycznego charakteryzującego hałas w pasmach oktawowych oraz określonej charakterystyki nausznika – zastosowanie ochronnika słuchu spowoduje maskowanie sygnału użytecznego przez hałas tła. W związku z tym konieczne będzie stosowanie dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa o wyższym poziomie niż w sytuacji, w której ochronnik słuchu nie będzie używany [4].

WNIOSKI

Przedstawiony w niniejszej pracy sposób oceny słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa pozwolił na wyznaczenie obszarów tej słyszalności w przypadku sygnalizatora analizowanego wózka jezdniowego w konkretnym środowisku pracy. Zastosowana w tym przypadku metoda oceny, w której przeprowadzana jest interpolacja danych pomiarowych, pozwoliła wyznaczyć rozkład poziomu ciśnienia akustycznego w obszarze wokół rozpatrywanego wózka jezdniowego.

Jednocześnie możliwe było wyznaczenie obszarów słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa emitowanego przez sygnalizator. Przeprowadzona analiza wykazała, że w przypadku jednego z rodzajów hałasu obecnego w środowisku pracy dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa jest słyszalny w odległości od około 2 m do co najmniej 8 m przed wózkiem i nie większej niż 3 m z obu stron wózka.

Ponadto dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa jest słyszalny z tyłu wózka – w odległości od około 1,5 m do 10 m na prawo od osi wózka i od około 3 m do 7 m na lewo od niej, z wyłączeniem rejonu bezpośrednio za wózkiem. W przypadku obniżenia poziomu ciśnienia akustycznego hałasu o 3 dB dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa jest słyszalny w obszarze o promieniu około 10 m, z wyłączeniem przestrzeni bezpośrednio z tyłu wózka oraz powierzchni z przodu wózka (na lewo i prawo od jego osi).

Stwierdzono też, że mimo że 2 rodzaje hałasu różnią się równoważnym poziomem dźwięku A (np. o 12,5 dB), to obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa w obu przypadkach może nie różnić się istotnie, kiedy hałas o wyższym poziomie jest jednocześnie wysokoczęstotliwościowy.

Sposób oceny przeprowadzonej w niniejszej pracy może być wykorzystany w analizie innych sytuacji, co w ich przypadku również umożliwi uzyskanie informacji o ewentualnych problemach z usłyszeniem dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa. Wyniki takiej analizy mogą być podstawą do modyfikacji lub wymiany układu dźwiękowej sygnalizacji, jeśli zostanie wykazany brak słyszalności sygnału bezpieczeństwa w miejscach, w których powinien być on słyszany.

Przeprowadzona w niniejszej pracy analiza dźwiękowej sygnalizacji bezpieczeństwa wózka jezdniowego, stosowanej w konkretnym środowisku pracy, wykazała także, że stosowanie ochronników słuchu w miejscu pracy może nie mieć wpływu na obszar słyszalności dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa.

PIŚMIENNICTWO

1. Główny Urząd Statystyczny: Warunki pracy w 2013 r. GUS, Warszawa 2014
2. Wilcox S.B.: Why forklifts need signaling the devices. *Ergon. Des.* 1994;2(4):17–20, <http://dx.doi.org/10.1177/106480469400200406>
3. Saulewicz A.: Poradnik. Widoczność otoczenia ze stanowiska operatora podnośnikowego wózka jezdniowego. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2012
4. PN-EN ISO 7731:2009. Ergonomia – sygnały bezpieczeństwa dla obszarów publicznych i obszarów pracy – dźwiękowe sygnały bezpieczeństwa. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2009
5. Edworthy J., Hellier E.: Auditory warnings in noisy environments. *Noise Health* 2000;2(6):27–39
6. Vaillancourt V., Nélisse H., Laroche C., Giguère C., Boutin J., Laferrière P.: Comparison of sound propagation and perception of three types of backup alarms with regards to worker safety. *Noise Health* 2013;15(67):420–436, <http://dx.doi.org/10.4103/1463-1741.121249>
7. Sust C.A., Lazarus H.: Signal perception during performance of an activity under the influence of noise. *Noise Health* 2003;6(21):51–62
8. Bolia R.S., d'Angelo W.R., Mishler P.J., Morris L.J.: Effects of hearing protectors on auditory localization in azimuth and elevation. *Hum. Factors* 2001;43:122–128, <http://dx.doi.org/10.1518/001872001775992499>
9. Tran Quoc H., Héту R.: Acoustic planning and signaling in industrial workplaces: Design criteria of acoustic warning signals. *Can. Acoust.* 1996;24:3–17
10. Simpson B.D., Bolia R.S., McKinley R.L., Brungart D.S.: The impact of hearing protection on sound localization and orienting behavior. *Hum. Factors* 2005;47:188–198, <http://dx.doi.org/10.1518/0018720053653866>
11. Carbonneau M.-A., Lezzoum N., Voix J., Gagnon G.: Detection of alarms and warning signals on an digital in-ear device. *Int. J. Ind. Ergon.* 2013;43(6):503–511, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2012.07.001>
12. PN-EN 12053+A1:2010. Wózki jezdniowe, bezpieczeństwo – metody pomiaru emisji hałasu. Polski Komitet Normalizacyjny, Warszawa 2010
13. Lee J.-S., Kong D.: Investigation of hearing protection effects in an extreme noise environment with an alarm location problem. *Int. J. Ind. Ergon.* 2006;36(8):685–693, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ergon.2006.04.008>
14. Alali K.A., Casali J.G.: The challenge of localizing vehicle backup alarms: Effects of passive and electronic hearing protectors, ambient noise level, and backup

-
- alarm spectral content. *Noise Health* 2011;13(51): 99–112, <http://dx.doi.org/10.4103/1463-1741.77202>
15. Asawarungsaengkul K., Nanthavanij S.: On evaluation and localization of auditory warning devices for adequate audibility. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2013;19(3):355–369, <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2013.11076990>
16. Zera J., Nagórski A.: Preferred levels of auditory danger signals. *Int. J. Occup. Saf. Ergon.* 2000; Special Issue: 111–117, <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2000.11105112>