

dr inż. RAFAŁ MŁYŃSKI (ORCID: 0000-0002-0500-0638)
 dr inż. LESZEK MORZYŃSKI (ORCID: 0000-0003-3534-3284)
 dr inż. EMIL KOZŁOWSKI (ORCID: 0000-0003-4685-1145)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: rmlynski@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0014.1924

Porównanie rozwiązań systemów ostrzegających osoby stosujące ochronniki słuchu przed zbliżającymi się pojazdami

Fot. Yastremnska/Bigstockphoto



Hałas obecny w środowisku pracy, oprócz najczęściej zauważanych skutków w postaci ubytków słuchu u pracowników, powoduje również maskowanie dźwięków, które w miejscu pracy są użyteczne. Czynnikiem, związanym z występowaniem hałasu, także utrudniającym percepcję dźwięków użytecznych, jest stosowanie ochronników słuchu. Istotne jest zatem stworzenie pracownikom stosującym ochronniki słuchu dodatkowej możliwości przekazywania informacji o zagrożeniu, np. związanym z przemieszczającymi się pojazdami.

W artykule przedstawiono prace nad rozwiązaniami będącymi podstawą do opracowania systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed kolizją z pojazdem. Prace te polegały na wyborze i testowaniu rozwiązań, które potencjalnie mogłyby być użyte w tym systemie. Pierwszym analizowanym rozwiązaniem był układ umożliwiający odczytywanie wartości wskaźnika wskazującego na moc odbieranego sygnału radiowego (RSSI), zbudowany z wykorzystaniem urządzenia Bluetooth klasy 2. Niestety odległość, w odniesieniu do której wartość RSSI zmienia się w sposób możliwy do wykorzystania w systemie, jest ograniczona do kilku metrów. Kolejnym analizowanym rozwiązaniem był system funkcjonujący na zasadzie detekcji obecności nadajnika w strefie wokół pracownika. Badania wskazały na możliwość detekcji sygnału w otwartej przestrzeni przy prędkościach nie większych niż ok. 3 km/h. Trzecim analizowanym rozwiązaniem był układ, w którym nadajnik zbudowano na bazie urządzenia Bluetooth klasy 1, zapewniającego większą moc sygnału radiowego. Badania wskazały na możliwość prawidłowej oceny odległości pojazdu – pracownik w wymaganym zakresie odległości. Zdecydowano więc, że to rozwiązanie będzie dalej rozwijane.

Słowa kluczowe: hałas, ochronniki słuchu, sygnały ostrzegawcze, wypadki, ostrzeżenie

A comparison of solutions of the systems warning persons using hearing protectors against approaching vehicles

In addition to the most commonly observed effects of hearing loss in employees, noise in the work environment also masks sounds that are useful in the workplace. Another factor associated with the occurrence of noise that also makes it difficult to perceive useful sounds is the use of hearing protectors. It is therefore important to provide workers who use hearing protectors with an additional opportunity to perceive information about risks such as those associated with approaching vehicles. The article presents the work on solutions that are the basis for the development of a system to warn workers who use hearing protectors against collision with a vehicle. This work consisted in selecting and testing solutions that could potentially be used in this system. The first solution analyzed was a system that allows the reading of the received signal strength indicator (RSSI) value indicating the power of the received radio signal and built, based on a Bluetooth class 2 device. Unfortunately, the distance for which the RSSI value changes in a way that is possible to use in the system is limited to a few meters. Another solution analyzed was the system operating on the principle of detecting the presence of the transmitter in the area around the employee. The tests showed that it is possible to detect the signal, in the open space, at speeds not greater than about 3 km/h. The third analyzed solution was a system in which the transmitter was built on the basis of Bluetooth class 1 device, providing greater power of radio signal. The tests indicated the possibility of correct assessment of the distance between the vehicle and the employee within the required range of distance. Therefore, it was decided that this solution will be further developed.

Keywords: noise, hearing protectors, danger signals, accidents, warnings

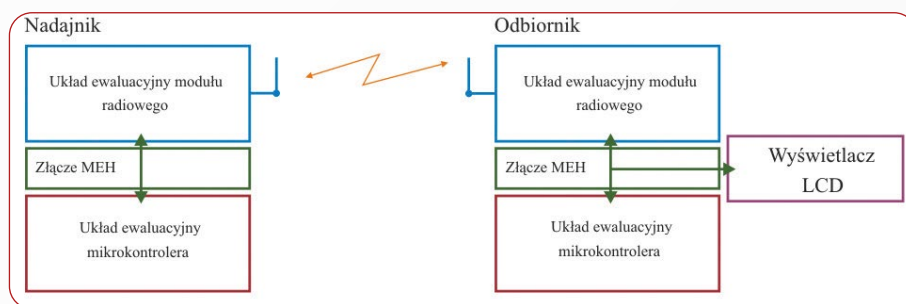
Wstęp

Hałas, poza tym, że powoduje ubytki słuchu, jest również przyczyną maskowania innych użytecznych w środowisku pracy dźwięków, np. sygnałów ostrzegawczych, generowanych przez maszyny lub urządzenia. W sytuacji wykonywania różnych zadań w trakcie pracy uwaga oraz wzrok pracownika najczęściej skupione są na procesie pracy. Pozostałe informacje, w tym na przykład to, co się dzieje poza obszarem widzenia pracownika, docierają do niego poprzez narząd słuchu. Możliwa jest zatem sytuacja, że nieusłyszenie przez pracownika sygnału ostrzegawczego doprowadzi do wypadku.

Nieusłyszenie sygnału ostrzegawczego uznawane jest za istotny problem w środowisku pracy, w szczególności, gdy sygnał ostrzegawczy generowany jest przez poruszające się pojazdy [2]. Inne badania wykazują natomiast, że aż 43% wypadków związanych z jazdą wstecz pojazdu wydarzyło się, pomimo że dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa był generowany [3].

Jednym z czynników utrudniających percepcję sygnału ostrzegawczego, generowanego przez poruszające się pojazdy, jest stosowanie ochronników słuchu. Pomimo że powinno to mieć miejsce dopiero po ograniczeniu hałasu za pomocą działań organizacyjno-technicznych, to ze względu na specyfikę niektórych stanowisk pracy, są one jedynym rozwiązaniem, służącym do ograniczenia hałasu [4].

Ochronniki słuchu ograniczają hałas docierający do uszu pracownika, niestety redukują jednocześnie możliwość percepcji dźwięków, niosących istotne informacje. Wyniki badań wykazały, że nawet ochronniki słuchu z re-



Rys. 1. Schemat układu testowego do odczytu wartości RSSI MEH – (ang. Morpho Extension Header)

Fig. 1. Diagram of the test system for reading RSSI values. MEH – Morpho Extension Header

gulowanym tłumieniem, które teoretycznie powinny poprawiać percepcję sygnałów ostrzegawczych, w obecności hałasu nie gwarantują tego [5]. Ważne jest zatem zapewnienie pracownikom, którzy stosują ochronniki słuchu, dodatkowej możliwości przekazywania informacji o zagrożeniu związanym z poruszającymi się pojazdami.

Celem prezentowanego artykułu jest opisanie efektów prac, polegających na wyborze i testowaniu rozwiązań, które potencjalnie mogłyby być użyte w systemie ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed najechaniem przez pojazd (jego koncepcję przedstawiono w artykule opublikowanym w „Bezpieczeństwie Pracy” [6]).

Rozwiązania uwzględnione w sprawdzeniu

Główne elementy systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed najechaniem przez pojazd to nadajniki przeznaczone do mocowania na pojazdach i odbiorniki przeznaczone do użytkowania przez pracowników. Podstawowym wymaganiem dotyczącym realizacji systemu ostrzegania jest uzyskanie odpowiednio dużego zasięgu, w jakim odbiornik systemu będzie zdolny wykryć sygnał radiowy wysyłany przez nadajnik. W poprzednim artykule [6] stwierdzono, że ze względu na czas niezbędny na podjęcie działania przez pracownika, odległość pomiędzy pojazdem a pracownikiem, przy której odbiornik odbierze informację o bliskości pojazdu, powinna przyjmować wartości z zakresu od kilkunastu do dwudziestu kilku metrów [6]. Ponadto drugie wymaganie stanowi, że zasięg ten musi być zachowany do określonej prędkości przemieszczania się nadajnika względem odbiornika, wynoszącej około 20 km/h.

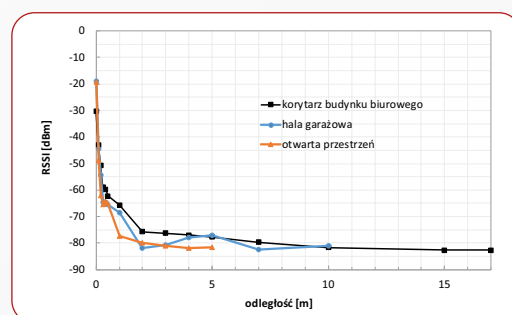
W celu sprawdzenia możliwości spełnienia przedstawionych wymagań dotyczących systemu ostrzegania wytypowano trzy rozwiązania. Dwa pierwsze z tych rozwiązań bazują na układach radiowych, pracujących z wykorzystaniem standardu Bluetooth klasy drugiej, o mocy sygnału nadawanego wynoszącej +4 dBm (2,5 mW). Przy tym pierwsze z tych rozwiązań opiera się na wykorzystaniu

wartości wskaźnika mocy sygnału odbieranego, podczas gdy drugie rozwiązanie obejmuje zasadę detekcji (wykrycia) nadajnika przez odbiornik. Ze względu na możliwą konieczność poszerzenia zasięgu obszaru, w którym możliwe byłoby poprawne wykrywanie nadajnika przez odbiornik systemu, w sprawdzeniu uwzględniono również zastosowanie nadajnika o większej mocy wysyłanego sygnału radiowego, należącego do grupy urządzeń Bluetooth klasy pierwszej. W trakcie sprawdzania trzech wymienionych rozwiązań weryfikowano, na ile z ich użyciem spełnić można przedstawione wymagania dotyczące zasięgu właściwego wykrywania w odbiorniku sygnału radiowego wysyłanego z nadajnika.

Wykorzystanie urządzeń Bluetooth klasy drugiej – pomiar wskaźnika mocy sygnału odbieranego

Pierwszym wyborem, który został wzięty pod uwagę do zastosowania w systemie ostrzegania osób stosujących ochronniki słuchu przed zbliżającymi się pojazdami, były układy radiowe, pracujące z wykorzystaniem standardu Bluetooth klasy drugiej, o mocy sygnału nadawanego wynoszącej +4 dBm (2,5 mW). Wykorzystując je, zbudowano układ testowy nadajnika i odbiornika, zgodnie ze schematem przedstawionym na rys. 1. Działanie układu testowego polegało na nawiązywaniu połączenia radiowego pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Po nawiązaniu łączności oprogramowanie odbiornika odczytywało wartość RSSI (wskaźnik mocy sygnału odbieranego; z języka angielskiego: *RSSI – Received Signal Strength Indicator*) i wyświetlało ją na wyświetlaczu LCD.

Testy zbudowanego rozwiązania przeprowadzono na korytarzu budynku biurowego, w hali garażowej oraz w otwartej przestrzeni. W tych trzech miejscach nadajnik i odbiornik ustawiano w różnych odległościach od siebie, inicjowano wysłanie komunikatu przez nadajnik i odczytywano wartość RSSI na wyświetlaczu odbiornika. W każdej z sytuacji pomiarowych, tj. przy każdej określonej odległości nadajnika względem odbiornika, pomiar przeprowadzono co najmniej trzykrotnie.



Rys. 2. Zestawienie wyników pomiarów mocy sygnału radiowego (wskaźnik RSSI – wartości średnie) przeprowadzonych z użyciem układu testowego do odczytu wartości RSSI

Fig. 2. Results of radio signal strength measurements (RSSI – average values) carried out using a test system for reading RSSI values

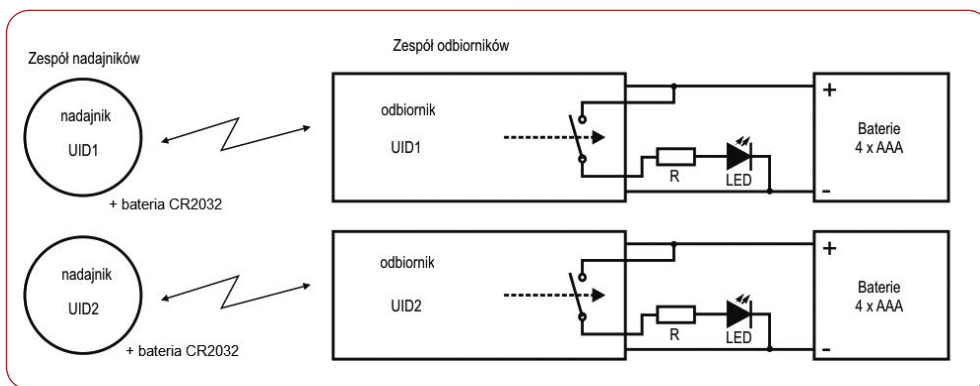
Na rys. 2. zestawiono średnie wartości RSSI zmierzone w trzech wymienionych miejscach.

Uzyskane dane (rys. 2.), odnoszące się do testowanych urządzeń Bluetooth klasy drugiej wskazują, że użyteczny zakres zmienności charakterystyk wartości RSSI, który można wykorzystać w praktyce, jest ograniczony do kilku metrów. W przypadku odległości przekraczających 5 m łączność pomiędzy nadajnikiem i odbiornikiem była zrywana (otwarta przestrzeń) lub zmienność wartości RSSI wraz ze zmianą odległości była na tyle niewielka, że trudno byłoby ją wykorzystać do określenia odległości odbiornika względem nadajnika. W przypadku pomiarów przeprowadzonych na korytarzu budynku biurowego łączność była zrywana przy odległości odbiornika względem nadajnika wynoszącej 18 m, natomiast w hali garażowej było to 11 m. Otrzymane wyniki nie spełniają oczekiwań, które mamy w stosunku do systemu ostrzegania. Spodziewany zasięg pracy takiego systemu można określić na ok. 10 metrów. Wyniki wskazały zatem na konieczność poszukiwania innych rozwiązań technicznych, pozwalających zwiększyć zasięg użytecznych odczytów wartości RSSI lub innych rozwiązań, pozwalających wykryć obecność pojazdu w strefie zagrożenia pracownika.

Wykorzystanie detekcji sygnału nadajnika radiowego

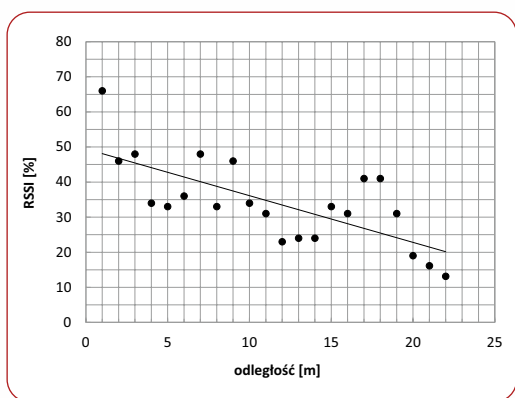
Kolejnym zaproponowanym rozwiązaniem było wprowadzenie zasady detekcji (wykrycia) nadajnika jako podstawy działania systemu ostrzegania. Działanie takiego układu nie polega na ocenie odległości nadajnik – odbiornik na podstawie wartości RSSI (która nie pozwalała na wyznaczenie odległości z wystarczającym przybliżeniem w przypadku urządzeń Bluetooth klasy drugiej), lecz na samym fakcie znalezienia się odbiornika w strefie zasięgu nadajnika.

Do realizacji systemu działającego na tej zasadzie wykorzystano układy radiowe Bluetooth, służące do kontroli dostępu lub identyfikacji. Nadajniki w takich układach rosyłają komunikaty zawierające identyfikator. Układ odbiornika,



Rys. 3. Schemat układu testowego do badania systemu ostrzegania funkcjonującego na podstawie zasady detekcji (wykrycia) nadajnika

Fig. 3. Diagram of the test system for testing a warning system based on the principle of transmitter detection



Rys. 4. Wyniki pomiaru wartości RSSI w funkcji odległości odbiornika względem nadajnika z zaznaczoną linią trendu. Pomiar przeprowadzono w dużym korytarzu (o przybliżonych wymiarach 30 x 5 x 7 m)

Fig. 4. Results of measuring RSSI values as a function of the distance between the receiver and the transmitter with a marked trend line. The measurement was carried out in a large corridor (approximate dimensions 30 x 5 x 7 m)

po wykryciu komunikatu zgodnego ze wzorcem wykonuje określone działania (w przypadku realizowanej pracy będzie to uruchomienie alarmu – ostrzeżenie pracownika). W celu sprawdzenia działania systemu ostrzegania działającego na zasadzie detekcji sygnału nadajnika przygotowano układ testowy (jego schemat przedstawiono na rys. 3.).

W układzie testowym znajdowały się dwa nadajniki, którym nadano numery identyfikacyjne UID1 i UID2. Moce obu nadajników były zmieniane indywidualnie w trakcie prowadzonych eksperymentów. Układ testowy zawierał również dwa układy odbiorników. Zdwojenie torów nadawczych i odbiorczych pozwoliło porównać w jednakowych warunkach i w tym samym czasie działanie układów skonfigurowanych w odmienny sposób.

Każdy z odbiorników został zaprogramowany w ten sposób, że zwiarał styki jego przekaźnika po odebraniu komunikatu radiowego z odpowiednim identyfikatorem, czyli odpowiednio UID1 i UID2. Zwarcie styków powodowało zaświecenie diody LED. Przemierzając zespół nadajników względem

odbiorników testowano zasięg i działanie transmisji radiowej obserwując diody LED podłączone do odbiorników.

Działanie układów sprawdzono najpierw w warunkach statycznych. Testy odbyły się w otwartej przestrzeni, w hali garażowej oraz w dużym korytarzu (o przybliżonych wymiarach 30 x 5 x 7 m). Uzyskane wyniki pomiarów wskazały, że możliwe jest wykrycie przez odbiornik obecności nadajnika w odległościach z zakresu kilkanaście – dwadzieścia kilka metrów. Detekcja sygnału przy odpowiedniej odległości (ze wspomnianego zakresu kilkanaście – dwadzieścia kilka metrów) była możliwa już wtedy, gdy nadajniki skonfigurowano do pracy z niepełną możliwą mocą rozgłaszania sygnału. W przypadku największej możliwej mocy (100%) odległości zmierzone w hali garażowej przekraczały bowiem 48 m. W przypadku otwartej przestrzeni odległości, przy których następowała detekcja sygnału przez odbiornik, wynosiły kilkanaście metrów. W takich sytuacjach (otwarta przestrzeń) warunki propagacji sprawiają, że możliwość przesłania sygnału z nadajnika do odbiornika występuje na istotnie krótszych dystansach (nawet dwukrotnie krótszych) niż ma to miejsce w pomieszczeniach zamkniętych.

Kolejnym etapem testów było sprawdzenie odległości, w której następowała detekcja sygnału z nadajnika w warunkach dynamicznych, tj. podczas jego przemieszczania się. Model nadajnika umieszczano na pojeździe. Wyniki tych pomiarów, niezależnie od konfiguracji testowanych układów, wskazały na zbyt mały, ograniczony do 2 metrów, zasięg zadziałania systemu (rozumiany jako odległość nadajnika od odbiornika w momencie wygenerowania sygnału ostrzegawczego) w otwartej przestrzeni; pojazd przemieszczał się z prędkością 8 – 12 km/h. Przy mniejszych prędkościach (do 3 km/h) wygenerowanie sygnału ostrzegawczego następowało w większych odległościach, nieprzekraczających 14 – 16 m. Oznacza to, że w tego rodzaju systemie istotna

jest nie tylko moc sygnału nadawanego, ale i czas niezbędny do nawiązania połączenia odbiornika z nadajnikiem oraz odczytania kodu identyfikacyjnego. Niedostatecznie krótki czas zadziałania elementów takiego rozwiązania wynika prawdopodobnie z ograniczeń w możliwych do ustawienia częstościach wysyłania/odbierania sygnału radiowego, w zastosowanych urządzeniach. Należy zatem stwierdzić, że wykorzystywanie detekcji (wykrycia) nadajnika przez odbiornik nie pozwala na skonstruowanie systemu ostrzegania spełniającego założone wymagania.

Wykorzystanie urządzeń Bluetooth klasy pierwszej – pomiar RSSI

Badania przeprowadzone w przypadku urządzeń Bluetooth klasy drugiej wykazały, że zasięg nadajników jest ograniczony do kilku metrów. Poszerzenie zasięgu obszaru, w którym moc sygnału wykazuje dostateczną zmienność jest możliwe poprzez zastosowanie nadajnika o większej mocy. W przypadku układów powszechnego użytku, pracujących w paśmie 2,4 GHz, niewymagających koncesji, mocą maksymalną dopuszczalną jest 100 mW, czyli 20 dBm. Jednym z dostępnych na rynku układów radiowych Bluetooth LE, umożliwiających pracę ze zbliżonymi do wartości dopuszczalnej mocami nadajnika (19,5 dBm), jest układ, którego podstawowym zastosowaniem jest zdalny odczyt wskazań liczników energii elektrycznej. W przypadku opracowywanego systemu treść przesyłanego komunikatu ma drugorzędne znaczenie (nie jest on odbierany) i układ ten po odpowiednich modyfikacjach może pełnić rolę nadajnika radiowego w opracowywanym systemie ostrzegania.

Układ radiowy wykorzystywany pierwotnie w urządzeniach do odczytu wskazań liczników energii elektrycznej, po dokonaniu niezbędnych modyfikacji i odpowiednim skonfigurowaniu, wykorzystano do przeprowadzenia pomiarów wartości RSSI sygnału przezeń rozgłaszanego. Pomiar przeprowadzono w funkcji odległości nadajnika od odbiornika. Miejscem przeprowadzenia pomiarów był duży korytarz (o przybliżonych wymiarach 30 x 5 x 7 m). Odbiornikiem sygnału, w trakcie badań, był smartfon z zainstalowaną aplikacją producenta testowanego układu radiowego, umożliwiającą odczytywanie wyrażonej procentowo wartości RSSI. Zmierzone wartości RSSI w funkcji odległości odbiornika względem nadajnika pokazano na rys. 4.

Jak można zauważyć, zakres odległości, w którym ma miejsce istotny spadek mocy sygnału wraz z odległością, wynosi ok. 20 m, co jest wartością wystarczającą do spełnienia wymagań opracowywanego systemu ostrzegania.

Drugim z elementów systemu ostrzegania jest układ odbiornika. Do konstrukcji jego modelu wybrano układ radiowy bazujący



Rys. 5. Modele nadajnika (po lewej stronie) i odbiornika (po prawej stronie) systemu bazującego na pomiarze mocy sygnału radiowego, gdzie nadajnik jest urządzeniem Bluetooth klasy pierwszej

Fig. 5. Transmitter (left side) and receiver (right side) model of a system based on radio signal strength measurement, where the transmitter is a Class 1 Bluetooth device

na specjalizowanym dwurdzeniowym mikroprocesorze. Na rys. 5. przedstawiono modele nadajnika i odbiornika systemu bazującego na pomiarze mocy sygnału radiowego.

Opracowane modele nadajnika i odbiornika przetestowano w otwartej przestrzeni. Poprzednie testy wskazały bowiem, że warunki propagacji sygnału w otwartej przestrzeni stwarzają większe wymagania wobec układów stosowanych do budowy systemu ostrzegania niż środowisko wewnątrz pomieszczeń. Wyniki pomiarów mocy sygnału radiowego w funkcji odległości nadajnika od odbiornika (pomiary statyczne), w przypadku modeli układów nadajnika i odbiornika systemu bazującego na pomiarze mocy sygnału radiowego, gdzie nadajnik jest urządzeniem Bluetooth klasy pierwszej, przedstawiono na rys. 6. Obserwowane wskazania mocy sygnału zmieniały się wraz z odległością nadajnika przemieszczającego się na pojeździe, od nawiązania łączności (kilkadziesiąt metrów) do około -50 dBm (w bezpośrednim sąsiedztwie odbiornika). W przypadku zamocowania nadajnika sygnału na pojeździe przemieszczającym się z prędkością 8 km/h, w odległości 20 m uzyskano wskazania wynoszące przeciętnie -66 dBm. Przy prędkości przemieszczania wynoszącej 20 km/h było to -62 dBm.

Otrzymane w trakcie badań wyniki pomiarów mocy odbieranego sygnału wykazały zatem, że zaproponowana konstrukcja układu nadajnika i odbiornika umożliwia spełnienie wymagań stawianych systemowi ostrzegania, tzn. ocenę położenia pojazdu względem pracownika w obszarze nawet do ok. 20 metrów.

Z tego względu opracowana konstrukcja będzie dalej rozwijana w kolejnym etapie prac nad opracowaniem systemu ostrzegania.

Podsumowanie

Prezentowane wyniki porównania wykazały, że w przypadku układów bazujących na odczycie wartości RSSI i zbudowanych z wykorzystaniem urządzenia Bluetooth LE klasy drugiej, odległość, w przypadku której wartość RSSI zmienia się w sposób możliwy do zastosowania w systemie ostrzegania, jest jednak ograniczona do kilku metrów. Kolejnym analizowanym rozwiązaniem był system funkcjonujący na zasadzie detekcji obecności nadajnika w strefie wokół pracownika. Badania wskazały na możliwość detekcji sygnału w otwartej przestrzeni przy prędkościach wynoszących jedynie do około 3 km/h. Taka prędkość jest jednak niewystarczająca wobec postawionych założeń co do funkcjonowania systemu ostrzegania.

Ostatnim z testowanych rozwiązań był nadajnik o większej mocy, tj. urządzenie Bluetooth klasy pierwszej o mocy sygnału nadawanego +19,5 dBm (wobec +4 dBm urządzenia klasy drugiej). Jego większa moc powoduje zwiększenie zasięgu strefy, w której zmienność wartości RSSI ma charakter monotoniczny i może być wykorzystana do oceny odległości. Badania wskazały na to, że ta opcja daje możliwość prawidłowej oceny odległości pojazd – pracownik w wymaganym zakresie odległości. Ocena położenia była prawidłowa również przy prędkościach przemieszczania pojazdu z nadajnikiem wynoszących 8 oraz 20 km/h.



Rys. 6. Wyniki pomiarów mocy odbieranego sygnału podczas badań układów opracowanych modeli nadajnika i odbiornika

Fig. 6. Results of radio signal strength measurements during tests of systems of developed transmitter and receiver models

Wyniki uzyskane podczas przeprowadzonego porównania trzech zaprezentowanych rozwiązań układowych wskazały, że jedynie przy stosowaniu ostatniego z nich spełnione zostały wymagania dotyczące zasięgu poprawnego wykrywania przez odbiornik sygnału radiowego wysyłanego z nadajnika. Pozwoliło to zdecydować, że rozwiązanie, w którym wykorzystywane jest urządzenie Bluetooth klasy pierwszej zostanie wykorzystane do budowy systemu ostrzegania osób stosujących ochronnik słuchu przed zbliżającymi się pojazdami. Kolejnym krokiem realizacji systemu ostrzegania jest zatem budowa jego modelu.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Warunki pracy w 2018 r. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa, Gdańsk 2019.
- [2] VAILLANCOURT, V.H. NÉLISSE, C. LAROCHE, C. GIGUÈRE, J. BOUTIN, 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>.
- [3] 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>
- [4] Rozporządzenie Ministra Gospodarki i Pracy z dnia 5 sierpnia 2005 r. w sprawie bezpieczeństwa i higieny pracy przy pracach związanych z narażeniem na hałas lub drgania mechaniczne, Dz.U. 2005 nr 157 poz. 1318.
- [5] MŁYŃSKI, R., KOZŁOWSKI, E. Analiza parametrów dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa docierającego pod ochronnik słuchu [The analysis of the parameters of the road safety signal reaching underneath hearing protectors]. *Przegląd Mechaniczny* 2017,7-8: 56-59.
- [6] MORZYŃSKI, L., SZCZEPAŃSKI, G. Ocena położenia urządzenia nasobnego na podstawie mocy sygnału radiowego w sieci sensorowej do monitorowania zagrożeń w środowisku pracy [Assessment of the position of the wearable device based on the radio signal strength in the sensor network for monitoring hazards in work environment]. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* 2020,581,2: 21-24.

Opracowano na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.