

dr inż. LESZEK MORZYŃSKI (ORCID: 0000-0003-3534-3284)

dr inż. RAFAŁ MŁYŃSKI (ORCID: 0000-0002-0500-0638)

dr inż. EMIL KOZŁOWSKI (ORCID: 0000-0003-4685-1145)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: [lmorzyns@ciop.pl](mailto:lmorzyns@ciop.pl)

DOI: 10.5604/01.3001.0014.0203

# Koncepcja systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed zbliżającym się pojazdem



Fot. auremar/Bigstockphoto

Jednym ze skutków występowania hałasu w środowisku pracy jest maskowanie innych, użytecznych dźwięków niosących dla pracownika istotną informację na temat otoczenia, w którym się znajduje. Percepcja przez pracownika użytecznych sygnałów dźwiękowych jest dodatkowo w znaczącym zakresie pogarszana poprzez stosowanie ochronników słuchu, należących do najpowszechniejszych środków ochrony pracownika przed nadmierną ekspozycją na hałas.

Do sygnałów akustycznych mających duże znaczenie dla pracownika i jego bezpieczeństwa należą sygnały ostrzegawcze, w tym generowane przez będące w ruchu pojazdy transportu wewnątrzzakładowego. Nieprawidłowa percepcja takich sygnałów wynikająca z występowania hałasu i stosowania ochronników słuchu może zatem prowadzić do powstawania groźnych dla zdrowia i życia wypadków. W artykule omówiono możliwości ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed najechaniem przez pojazd, z uwzględnieniem różnych metod technicznych wykrywania zagrożenia najechaniem, jak i przekazywania pracownikowi informacji o zagrożeniu. Przedstawiono również koncepcję rozwijanego w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed zbliżającym się pojazdem, wykorzystującego techniki radiowe do wykrywania zagrożenia najechaniem. Przedstawiono możliwości techniczne realizacji takiego systemu, wskazując na jego zalety i wady.

*Słowa kluczowe: hałas, ochronniki słuchu, wypadki, dźwiękowe sygnały ostrzegawcze, systemy ostrzegania*

## Concept of the system warning hearing protectors-using employees against the approaching vehicle

One of the effects of noise in work environment is that it masks other useful sounds that deliver important information to employees about the environment of their whereabouts. The employee's perception of useful sound signals is further significantly deteriorated by the use of hearing protectors – one of the most common means of protecting employees against excessive exposure to noise.

Auditory warning signals are the acoustic signals of great importance both for employees and their safety, including those generated by moving in-house transport vehicles. Incorrect perception of such signals may result from the occurrence of noise and the use of hearing protectors and, therefore lead to life-threatening accidents. The article discusses the possibilities of warning hearing protectors- using employees against an approaching vehicle, taking into account various technical methods for detecting the risk of collision and providing the employee with information about the threat. The concept of a system developed at the Central Institute for Labor Protection - National Research Institute to warn employees using hearing protectors against an approaching vehicle, using radio techniques to detect the risk of collision, is also presented. The technical possibilities of implementing such a system are shown, indicating its advantages and disadvantages.

*Keywords: noise, hearing protectors, accidents, auditory warning signals, warning systems*

## Wstęp

Hałas, będący powszechnie występującym w środowisku pracy czynnikiem szkodliwym, powoduje powstawanie trwałych ubytków słuchu u narażonych na jego działanie osób [1-3]. Hałas ponadto maskuje (czyli mówiąc w uproszczeniu: zagłusza) inne użyteczne dźwięki. Użytecznymi dźwiękami mogą być chociażby sygnały ostrzegawcze, generowane przez maszyny lub urządzenia. Stanowią one istotną dla pracownika informację na temat otoczenia, w którym się znajduje. W trakcie wykonywania obowiązków pracowniczych uwaga oraz wzrok pracownika są skupione na zadaniach. Z tego względu informacja o tym, co dzieje się poza obszarem wi-

dzienia, w innych miejscach w przedsiębiorstwie, w dużej mierze dociera do pracownika poprzez zmysł słuchu. Brak lub niewłaściwa percepcja informacji akustycznych może zatem przyczynić się do powstawania wypadków przy pracy.

Środkami ochrony osobistej przed hałasem są ochronniki słuchu [1,2]. Ograniczają one ekspozycję pracowników na hałas, lecz jednocześnie wpływają na odbiór dźwięków użytecznych. Dotyczy to przede wszystkim sygnałów bezpieczeństwa, czyli dźwięków ostrzegawczych. W przeciwieństwie do hałasu niosą one użyteczną dla pracownika informację o zagrożeniach. Prawidłowy odbiór sygnału ostrzegawczego jest ściśle związany z zapewnieniem bezpieczeństwa w miejscu pracy.

Pomimo że ochronniki słuchu ograniczają hałas docierający do narządu słuchu, mogą jednocześnie utrudniać odbiór użytecznych sygnałów akustycznych poprzez ich tłumienie. Tłumienie to jest nierównomierne w funkcji częstotliwości i w przypadku ochronnika pasywnego zwiększa się wraz ze wzrostem częstotliwości. Maskowanie sygnału użytecznego przez hałas oraz stosowanie ochronników słuchu wpływa zatem niekorzystnie na percepcję tego sygnału, w tym na kierunkowość słuchu, umożliwiającą przestrzenną lokalizację źródła sygnału użytecznego.

Nieusłyszenie sygnałów ostrzegawczych, w szczególności generowanych przez poruszające się pojazdy, uznawane jest za istotny problem w środowisku pracy [4]. Brak możliwości odbioru

informacji docierającej do pracownika drogą słuchową może więc, ze względu na brak informacji o zagrożeniu, doprowadzić do wypadku przy pracy. Przemieszczające się pojazdy są nieodłącznym elementem wyposażenia w miejscu pracy. Mogą nimi być wózki jezdniowe, wykorzystywane do transportu materiałów w hali produkcyjnej lub w magazynie. W miejscach tych obecny jest hałas, który może maskować dźwięk wskazujący na bliską obecność pojazdu. Przykładowo, zjawisko to sprawia, że pomimo wyposażenia pojazdów w sygnał ostrzegający o jeździe wstecz, dochodzi do sytuacji nieodebrania sygnału przez osoby przebywające w pobliżu pojazdu, a w konsekwencji do wypadków.

Skala problemu związanego z nieusłyszeniem sygnału ostrzegawczego w środowisku pracy jest istotna. Przykładem są dane z USA. Regulacje Occupational Safety & Health Administration (OSHA) wymagają odpowiedniego sposobu informowania pracownika o pojeździe poruszającym się wstecz. Pomimo to aż 43% wypadków związanych z taką jazdą wydarzyło się, gdy dźwiękowy sygnał bezpieczeństwa pojazdu był sprawny [5,6].

Wyniki badań własnych CIOP-PIB wykazały, że nawet ochronniki słuchu z regulowanym tłumieniem, w obecności hałasu nie zapewniają możliwości prawidłowego odbioru dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa [7]. Istotne jest zatem dostarczenie pracownikom wykonującym swoje zadania w obecności hałasu i stosujących ochronniki słuchu, dodatkowej ścieżki przekazywania informacji o występujących w środowisku pracy zagrożeniach, związanych z poruszającymi się pojazdami.

Celem artykułu jest prezentacja możliwych sposobów ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed najechaniem przez pojazd, w tym rozwijanej w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym koncepcji takiego systemu.

## Ocena położenia pracowników i pojazdów względem siebie

Ważnym zagadnieniem w systemie ostrzegania pracowników jest ocena położenia pracowników i pojazdów w ruchu względem siebie i wynikającego z tego niebezpieczeństwa. Zidentyfikowanie faktu zbliżania się obiektu stanowiącego potencjalne zagrożenie dla pracownika wymaga, aby informacja na ten temat została mu przekazana za pomocą określonego sposobu powiadamiania (wizualnego, dźwiękowego itd.). Realizacja powiadamiania pracownika o zagrożeniu jest osobnym zagadnieniem, omówionym w innym artykule autorów [8]. Wskazano w nim, że najlepszym rodzajem sygnału ostrzegawczego, stosowanego w warunkach hałasu, jest sygnał drganiowy.

Obecna technika umożliwia realizację co najmniej kilku możliwych rozwiązań technicznych, pozwalających na bieżącą ocenę położenia względem siebie obiektów, takich jak pojazdy i pracownicy. Każde z tych rozwiązań ma cechy i właściwości, decydujące o możliwej dokładności tej oceny, jak i o perspektywach zastosowań praktycznych.

Pierwszym jest zastosowanie technik wizyjnych do oceny położenia pracowników i pojazdów [9,10]. Rozwiązania takie wykorzystywane są np. w systemach monitoringu, gdzie za pomocą tzw. funkcji AutoTracking automatycznie śledzony jest ruch wszelkich obiektów, które pojawiają się w polu widzenia kamery. Zastosowanie technik wizyjnych do oceny położenia pracowników i pojazdów wymagałoby użycia wielu kamer, które umożliwiają kompletną obserwację nadzorowanego obszaru, oraz wydajnych układów obliczeniowych.

Kolejnym rozwiązaniem pozwalającym na ocenę odległości pracownik – pojazd jest zastosowanie w poruszającym się pojeździe systemów radarowych lub lidarowych<sup>1</sup>. Służą one do skanowania przestrzeni, w której się porusza się pojazd, w celu poszukiwania obiektów (nie tylko osób) oraz oceny ich odległości i trajektorii ich ruchu. Tego rodzaju rozwiązania stosowane są coraz powszechniej w samochodowych systemach unikania kolizji (*collision avoidance system*). Ze względu na ich koszt obecnie stosuje się je w samochodach wyższej lub średniej klasy (radary) czy samochodach autonomicznych (radary i lidary), [11-13].

Przykładową propozycję systemu chroniącego przed kolizjami (zderzenie dwóch pojazdów bez uszczerbku dla zdrowia wśród ludzi) lub wypadkami (rozumiane jako najechanie człowieka przez pojazd) na placu budowy, wykorzystującego urządzenia radarowe, przedstawiono w publikacji Mirosława [14]. Autor proponuje zastosowanie w pojazdach szeregu radarów śledzących ruch innych obiektów wokół pojazdu budowlanego i ich trajektorię. Wprowadzenie systemu ostrzegania osób stosujących naszniki przeciwhałasowe przed zbliżającymi się pojazdami wymagałoby zainstalowania w każdym pojeździe poruszającym się po terenie zakładu pracy układów radarowych. Byłoby to zadaniem kosztownym i nie zawsze możliwym, np. w stosunku do pojazdów wjeżdżających z zewnątrz na teren budowy. Ponadto, jak słusznie zwrócił uwagę autor wspomnianej pracy, duże zagęszczenie pojazdów postępujących się radarami może prowadzić do ich wzajemnego zakłócania się [14].

Kolejnym z możliwych rozwiązań oceny położenia pracowników względem pojazdów jest zastosowanie techniki RFID (*Radio-Frequency Identification*). Jest to technika identyfikacji obiektów wykorzystująca fale radiowe do przesyłania danych o obiekcie i jednocześnie do zasilania układu elektronicznego identyfikującego obiekt, tzw. etykiety RFID<sup>2</sup>. Podstawowy system RFID składa się z układu czytnika i układu etykiet, przymocowanych do identyfikowanych obiektów. Z zasady działania technika RFID służy do wykrywania obecności posiadających etykiety obiektów zasięgu działania czytnika, co bez zastosowania dodatkowych rozwiązań nie pozwala na ocenę odległości czytnik – etykieta.

<sup>1</sup> Lidar – od *Light Detection and Ranging*. Chodzi o urządzenie, którego zasada działania jest podobna do radaru, ale zamiast fal radiowych wykorzystywane jest światło.

<sup>2</sup> Dotyczy podstawowego i najpowszechniej stosowanego rodzaju układów RFID, czyli z etykietami pasywnymi. Istnieją również układy RFID z etykietami aktywnymi, posiadającymi własne źródło zasilania.

Z tego względu technika RFID wykorzystywana jest m.in. w systemach kontroli dostępu. Wejścia do obszaru, do którego dostęp jest kontrolowany, wyposażone są w układ czytnika RFID. System kontroli dostępu może zezwalać na wejście/wjazd do określonego obszaru (np. poprzez otwarcie bramy, drzwi) obiektowi posiadającemu odpowiednią etykietę. Może też gromadzić informacje o obiektach wchodzących do danej strefy dzięki informacji z ich etykiet.

Takie rozwiązanie mogłoby zatem być wykorzystane do oceny położenia pracowników względem pojazdów. Wymagałoby to podziału obszaru zakładu pracy na strefy, do których dostęp odbywałby się przez określone drogi komunikacyjne z bramami RFID. Czytnik RFID, umieszczony przy wejściu do danej strefy, rejestrowałby wejście do niej pracowników i pojazdów wyposażonych w etykiety RFID. Znalezienie się w jednej strefie pracownika i pojazdu mogłoby wskazywać na możliwość kolizji i generowało sygnał o zagrożeniu. Takie rozwiązanie wymagałoby podziału obszaru przedsiębiorstwa na odpowiednio małe strefy bezpieczeństwa, przedzielone bramami RFID. Rozwiązanie takie mogłoby również być wykorzystane w przypadku większych obszarów, w których ruch pojazdów odbywa się sporadycznie. Innym rozwiązaniem jest umieszczenie w strefie poruszania się pojazdów i osób dużej liczby czytników, w ten sposób, że ich zasięgi działania częściowo się pokrywają [14]. Mając informację o tym, w zasięgu których czytników znajduje się dany obiekt, można z pewnym przybliżeniem określić jego położenie.

Innym możliwym rozwiązaniem jest zainstalowanie na pojazdach czytników RFID oraz wyposażenie pracowników w etykiety RFID. Pojazd mógłby wykryć wtedy obecność pracownika w obszarze zasięgu czytnika i przekazać taką informację zwrotnie pracownikowi. Wymagałoby to jednak wyposażenia wszystkich pojazdów w czytniki RFID oraz zapewnienia systemu komunikacji zwrotnej do pracowników.

Podsumowując przedstawione informacje można stwierdzić, że zastosowanie techniki RFID do oceny położenia pracowników i pojazdów na potrzeby ostrzegania przed najechaniem pracownika przez pojazd jest w pewnych przypadkach możliwe. Nie jest to jednak rozwiązanie, które mogłoby być stosowane powszechnie ze względu na sposób i zasięg działania układów RFID. Jego wdrożenie wymagałoby ponadto stworzenia odpowiedniej infrastruktury w postaci rozbudowanego układu czytników RFID rozmieszczonych na terenie firmy.

Kolejne z rozwiązań służących do oceny położenia pracowników i pojazdów względem siebie bazuje na pomiarze mocy sygnału radiowego w odbiorniku. Wykorzystuje się tu fakt, że sygnał radiowy na drodze propagacji podlega tłumieniu. W przypadku danego układu nadajnik – odbiornik moc sygnału odbieranego w odbiorniku jest funkcją jego odległości od nadajnika. Mierząc zatem moc odbieranego sygnału radiowego możemy ocenić odległość odbiornika do nadajnika. W sieciach bezprzewodowej transmisji danych moc sygnału odbieranego ma istotny wpływ na proces nawiązywania połączenia pomiędzy

urządzeniami oraz na jakość transmisji danych. Z tego powodu w wielu protokołach bezprzewodowej transmisji danych (Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee) wprowadzono możliwość oceny mocy sygnału odbieranego w postaci tzw. wskaźnika mocy sygnału odbieranego (*Received Signal Strength Indication* – RSSI). Wartości RSSI mogą być wyrażane w procentach lub w decybelach względem 1 mW, czyli dBm. Odczyt RSSI jest coraz częściej wykorzystywany w różnego rodzaju pracach badawczych i rozwiązaniach technicznych do oceny odległości pomiędzy obiektami czy też do lokalizacji obiektów [16,17].

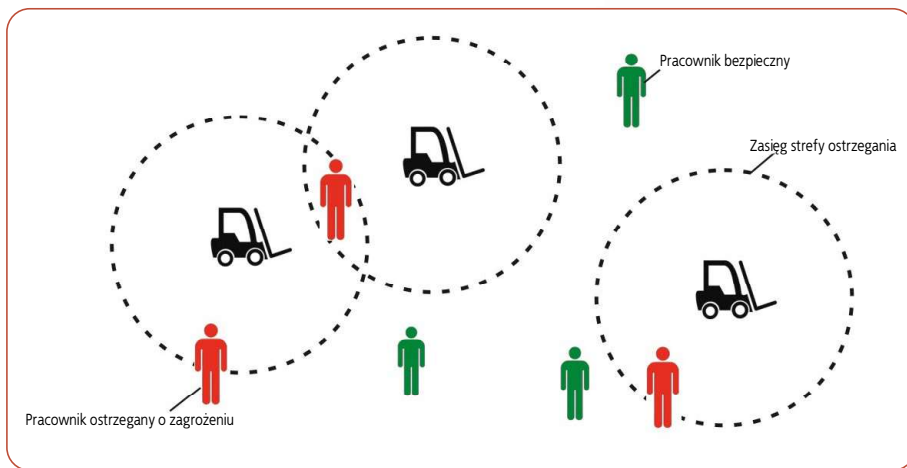
Na podstawie dostępnych doniesień literaturowych można stwierdzić, że pomiar mocy odbieranego sygnału radiowego może być zastosowany do oceny położenia pracowników względem pojazdów. Będzie to wymagało wyposażenia pojazdów i pracowników w układy typu nadajnik-odbiorca sygnału radiowego o odpowiednich parametrach. Zaletą takiego rozwiązania jest brak konieczności tworzenia dodatkowej infrastruktury w postaci układu czujników, anten itp. Dzięki temu system jest uniwersalny i niezależny od infrastruktury.

Oczywiście, kluczowe znaczenie ma tu zasięg transmisji radiowej, który umożliwi wykrycie poruszającego się obiektu z odpowiedniej odległości. Zasięg ten zależy od wielu czynników, takich jak standard transmisji radiowej, klasa układu pracującego w tym standardzie, właściwości nadajnika i odbiornika, a w szczególności budowa anteny i moc nadawanego sygnału. Urządzenia pracujące w standardach Bluetooth czy Wi-Fi mogą mieć zasięg w zakresie od kilku metrów w pomieszczeniach do kilkuset metrów w przestrzeni otwartej, przy czym z założenia urządzenia Bluetooth przeznaczone są do łączności na bliższe odległości.

Idea zastosowania pomiaru odległości na podstawie pomiaru mocy sygnału radiowego znalazła w ostatnim czasie zastosowanie w pierwszych na rynku systemach ostrzegania pracowników przed zbliżającymi się pojazdami. W jednym z takich systemów wykorzystuje się znaczniki radiowe (nadajniki) noszone przez pracowników [18]. Z wózkiem jezdniowym zintegrowany jest układ odbiorczy złożony z panelu kierowcy oraz anten kierunkowych. System nie wykorzystuje do działania typowych protokołów transmisji danych, lecz korzysta z układów radiowych pracujących w zakresie fal długich i średnich (od 100 do 500 kHz). Czyny to układ mniej wrażliwym na warunki propagacji fali. System pozwala ocenić położenie względem wózka i odległość od pracownika, przy czym wyznaczone są 3 strefy wykrywania: 18 m – wykrycie pracownika, 10 m – strefa zagrożenia, 8 m – bezpośrednie zagrożenie najechaniem pracownika przez pojazd.

## Koncepcja systemu ostrzegania

W rozwijanym w CIOPIB rozwiązaniu systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed najechaniem przez pojazd przyjęto, że względu na zapewnienie jego uniwersalności i jednocześnie prostej budowy, że wykorzystana ocena położenia pracownika względem pojazdu, bazującą na pomiarze mocy odbieranego



Rys. Schemat działania systemu ostrzegania przed najechaniem pracowników stosujących ochronniki słuchu  
Fig. Schematics for the operation of the warning system for employees who use hearing protectors against being run over

sygnału. Urządzenia umieszczane na pojazdach będą zawierały nadajniki układów radiowych, natomiast odbiorniki znajdują się w urządzeniach nasobnych pracowników. System taki, w przeciwieństwie do znanych rozwiązań, nie będzie musiał być zintegrowany z pojazdem; będzie mógł być szybko zamontowany na dowolnym pojeździe, znajdującym się w miejscu pracy [18]. Systemem tym można zatem objąć zarówno pojazdy będące na wyposażeniu określonego przedsiębiorstwa, jak i te, które wjeżdżają na jego teren okazjonalnie, a nawet jednorazowo. Moduły systemu mogą być zainstalowane we wszystkich pojazdach należących do przedsiębiorstwa oraz zamocowywane np. do wjeżdżającego samochodu dostawczego, betoniarki, dźwigu. Da to możliwość szybkiego zwiększenia liczby pojazdów objętych działaniem systemu. Ma to znaczenie w przypadku pojazdów firm trzecich, wjeżdżających na teren przedsiębiorstwa lub budowy. Rozwiązanie zaproponowane w CIOPIB, od strony pracownika przebywającego na terenie przedsiębiorstwa, stanowić ma zatem swego rodzaju indywidualne wyposażenie, służące poprawie jego bezpieczeństwa.

Schemat działania opracowywanego systemu przedstawiono na rysunku. W otoczeniu każdego z poruszających się pojazdów powstaje tzw. strefa ostrzegania. Na rysunku symbolizowane jest to grafiką wózka jezdniowego i okręgiem o linii przerywanej. Każdy z pracowników, który znajdzie się w zasięgu strefy, jest informowany o niebezpieczeństwie najechania przez pojazd (postaci w kolorze czerwonym). Pozostali pracownicy (kolor zielony) przebywają w strefie bezpiecznej. Ważne jest, aby system działał w taki sposób, żeby każdy pracownik był w stanie otrzymać sygnał ostrzegawczy o zbliżaniu się dowolnego pojazdu.

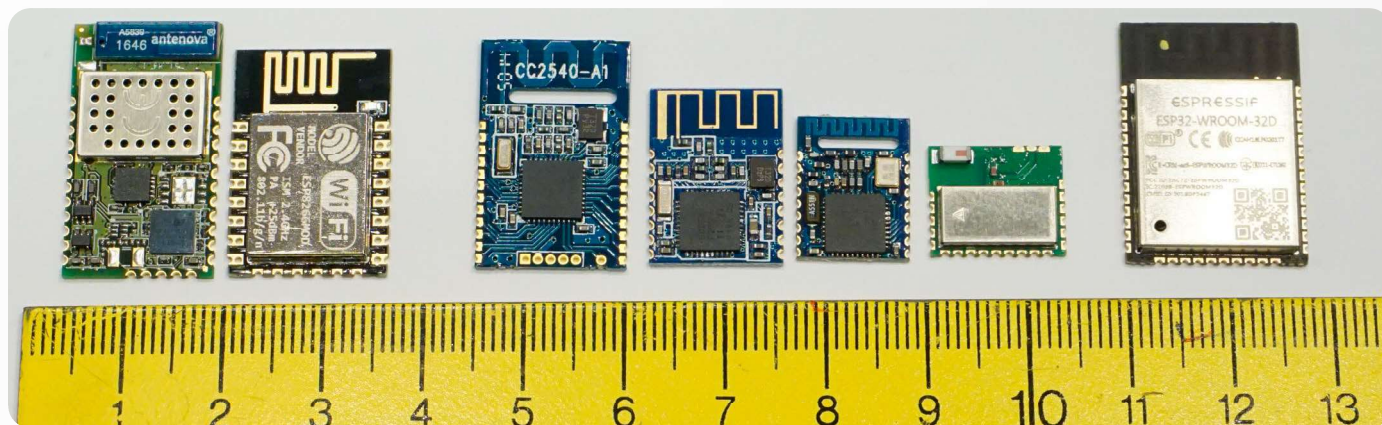
Istotne znaczenie dla działania systemu ma ustalenie promienia strefy ostrzegania. Na jej wielkość podstawowy wpływ powinna mieć prędkość poruszania się pojazdu, gdyż implikuje to czas, który będzie miał pracownik na podjęcie reakcji po otrzymaniu sygnału ostrzegawczego. W poradniku wydanym w CIOPIB wskazano, że dopuszczalna prędkość maksymalna wynosi 5 km/h w sytuacji, gdy droga, po której przemieszcza się wózek jezdniowy, jest oddzielona od drogi dla pieszych za pomocą linii na powierzchni drogi. Gdy jazda odbywa się drogą wydzieloną tylko

do użytkowania przez wózki i oddzieloną barierami fizycznymi od drogi dla pieszych, prędkość maksymalna wynosi 12 km/h [19].

Należy także mieć na uwadze, że prędkości rozwijane przez wózki jezdniowe, w zależności od ich producenta czy udźwigu, mogą przekraczać wprowadzone na terenie firmy ograniczenia i dochodzić do 30 km/h. Przy prędkości 5 km/h w ciągu jednej sekundy pojazd będzie przemieszczał się o 1,4 m (prędkość 1,4 m/s), przy prędkości 12 km/h będzie to 3,3 m, natomiast przy prędkości 30 km/h już 8,3 m. Stąd, uwzględniając czas niezbędny na podjęcie działania przez osobę, która odbierze informacje o bliskości wózka, system ostrzegający powinien rozpocząć ostrzegać, gdy odległość pojazd – wózek będzie wynosiła kilkanaście – dwadzieścia kilka metrów.

Większy zasięg strefy ostrzegania może być jednak niekorzystny. Może bowiem powodować generowanie ostrzeżeń u pracowników, którzy znajdują się tak naprawdę poza obszarem, w którym grozi im najechanie przez pojazd. W takim przypadku pracownicy będą niechętnie korzystać z systemu ostrzegania lub, co gorsza, po jakimś czasie zaczną ignorować jego ostrzeżenia. W opisywanym systemie istnieje również możliwość wprowadzenia stopniowanych stref zagrożenia. Ponieważ mierzona moc sygnału będzie zależała od odległości pojazd – pracownik, możliwe jest zwiększanie intensywności bodźca wraz ze zbliżaniem się pojazdu do pracownika. Zakłada się, że odległość pomiędzy odbiornikiem i nadajnikiem systemu, przy której zacznie być generowany alarm, w przypadku systemu używanego wewnątrz pomieszczenia powinna wynosić od kilku do ok. 10 metrów. Natomiast na zewnątrz budynku odległość taka powinna być nieco większa, tj. wynosić kilkanaście metrów. Wstępne ostrzeganie pracownika mogłoby mieć z kolei miejsce przy odległościach o kilka metrów większych niż wymienione odległości, przy których występowałoby alarmowanie. Na przykład, po wejściu w granicę strefy ostrzegania pracownik powinien otrzymać pierwszy sygnał ostrzegawczy – przerywany w dłuższych odstępach czasu. W miarę zbliżania się pojazdu częstotliwość nadawania sygnału ostrzegawczego powinna wzrastać.

Realizacja stref ostrzegania o odpowiedniej wielkości zależy od parametrów zastosowanych w systemie układów radiowych. Zasięg transmisji



Fot. Moduły radiowe do komunikacji bezprzewodowej w różnych standardach: Wi-Fi (pierwsze dwa od lewej) Bluetooth (cztery moduły w środku) oraz Wi-Fi / Bluetooth – zależnie od konfiguracji programowej (ostatni po prawej)

Photo. Radio modules for different wireless communication standards: Wi-Fi (first two from the left), Bluetooth (four in the middle) and Wi-Fi/Bluetooth – depending on its software configuration (last on the right)

sygnału radiowego powinien być nie mniejszy niż zasięg strefy ostrzegania z uwzględnieniem utrudnionych warunków propagacji systemu. Transmisja radiowa wykorzystywana w opracowywanym systemie będzie oparta na jednym z typowych protokołów transmisji danych (Wi-Fi, Bluetooth), pracujących w paśmie 2,4 GHz. Rozwiązania takie przyjęto biorąc pod uwagę, że system przewidziany do realizacji w ramach zadania ma być prosty i tani w użytkowaniu, a jednocześnie uniwersalny. Obecnie na rynku elektronicznym dostępna jest bardzo szeroka gama modułów radiowych do komunikacji w standardzie Wi-Fi oraz Bluetooth. Przykłady takich modułów przedstawiono na fotografii.

W proponowanym rozwiązaniu technicznym układ mocowany na pojeździe składa się z modułu radiowego, nadającego w regularnych odstępach czasu sygnał radiowy. Bardziej złożona jest konstrukcja urządzenia nasobnego. Zawiera ono odbiornik radiowy, mikrokontroler oraz elementy informujące o zagrożeniu. Zadaniem mikrokontrolera będzie odczytywanie wartości RSSI z odbiornika i wnioskowanie o bezpieczeństwie pracownika na podstawie przyjętych reguł. W przypadku zagrożenia dla pracownika mikrokontroler będzie uruchamiał znajdujące się w urządzeniu nasobnym elementy sygnalizujące. Mogą to być elementy typu: diody LED, wyświetlacz ciekłokrystaliczny, przetwornik drganiowy. Zarówno ich dobór, jak i rozmieszczenie są przedmiotem analizy, która zostanie omówiona w kolejnym artykule.

## Podsumowanie

Hałas w środowisku pracy może powodować różnego rodzaju zagrożenia, nie tylko dla słuchu, ale również w odniesieniu do bezpieczeństwa pracowników. W artykule przedstawiono koncepcję rozwijanego w CIOP-PIB systemu ostrzegania pracowników stosujących ochronniki słuchu przed pojazdem poruszającym się po terenie przedsiębiorstwa. Działanie tego systemu za podstawę przyjmuje techniki komunikacji bezprzewodowej.

Z omówionych w artykule możliwości rozwiązań technicznych, służących do oceny wzajemnego położenia pracowników i pojazdów, w zaproponowanym systemie przyjęto rozwiązanie bazujące na pomiarze mocy odbieranego sygnału radiowego. Według przyjętej koncepcji system ostrzegania składa się z nadajników mocowanych

na dowolnym pojeździe poruszającym się po terenie firmy oraz z noszonych przez pracowników odbiorników w postaci urządzeń nasobnych. Takie rozwiązanie, niewymagające ścisłej integracji elementów systemu z pojazdem, będzie mogło być stosowane w różnych rodzajach przedsiębiorstw, poprawiając bezpieczeństwo pracowników pracujących w warunkach zagrożenia hałasem.

Realizowane w CIOP-PIB prace mają na celu opracowanie modelu systemu działającego według przedstawionych w artykule założeń. Opracowywany jest model systemu ostrzegania, który zostanie poddany badaniom weryfikacyjnym pod kątem spełnienia założeń odnośnie do funkcjonowania systemu. W badaniach tych sprawdzone zostanie, jaki wpływ na działanie systemu mają m.in.: środowisko, w którym system funkcjonuje (pomieszczenie/hala przemysłowa lub przestrzeń otwarta), prędkość przemieszczania się pojazdu czy też zwiększenie liczby elementów systemu o kolejne nadajniki i odbiorniki. Sprawdzony zostanie również czas funkcjonowania poszczególnych elementów systemu w przypadku zastosowanego w nich zasilania akumulatorowego. Wyniki badań modelu będą podstawą do przygotowania prototypu i dokumentacji technicznej do produkcji systemu wspierającego bezpieczeństwo pracy w środowisku, w którym przemieszczają się pojazdy.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] ENGEL, Z., KORADECKA, D., AUGUSTYŃSKA, D., KOWALSKI, P., MORZYŃSKI, L., ŻERA, J. Zagrożenia wibroakustyczne [w:] D. Koradecka (red.): Bezpieczeństwo i higiena pracy, CIOP-PIB, Warszawa 2008.
- [2] Serwis internetowy BEZPIECZNIEJ – <http://www.ciop.pl/bezpieczniej>.
- [3] 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.
- [4] 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>.
- [5] Occupational Safety and Health Administration (OSHA). Occupational safety and health standards: Motor vehicles (29 CFR, Part 1926.601). Washington, DC: Office of the Federal Register 2000.
- [6] 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>.
- [7] MŁYŃSKI, R., KOZŁOWSKI, E. Analiza parametrów dźwiękowego sygnału bezpieczeństwa docierającego pod ochronniki słuchu [Analysis of the parameters of the audible warning signal reaching underneath hearing protectors]. *Przegląd Mechaniczny* 2017, 7-8: 56-59 DOI 10.15199/148.2017.7-8.9.
- [8] MŁYŃSKI, R., KOZŁOWSKI, E., MORZYŃSKI, L. Przekazywanie informacji o zagrożeniu pracownikowi wyposażonemu w indywidualny system ostrzegania za pomocą sygnału drganiowego. *Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka* [Means for providing information about danger to an employee equipped with an individual vibrating warning system] 2019, 5: 21-23 DOI 10.5604/01.3001.0013.1978.
- [9] DALKA, P. Metody algorytmicznej analizy obrazu wizyjnego do zastosowań w monitorowaniu ruchu drogowego [Methods of the algorithmic analysis of the visual vista used to monitor traffic]. *Rozprawa doktorska*. Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska, Gdańsk, 2014.
- [10] MA, Y. (red.), QIAN, G. (red.) *Intelligent Video Surveillance. Systems and Technology*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2010.
- [11] <https://www.bmw.pl/pl/topics/fascination-bmw/connected-drive/driver-assistance.html>
- [12] [https://m.mercedes-benz.pl/techcenter/pl\\_PL/pre\\_safe\\_system/detail.html](https://m.mercedes-benz.pl/techcenter/pl_PL/pre_safe_system/detail.html)
- [13] <https://www.toyota.pl/world-of-toyota/safety/pre-collision-system.json>
- [14] MIROSLAW, M. System aktywnego bezpieczeństwa chroniący przed kolizjami na placu budowy [System of the active safety protecting against collision on construction sites]. *Przegląd Mechaniczny* 2017, 7-8: 51-55 DOI 10.15199/148.2017.7-8.8.
- [15] SEOL, S., LEE, E.-K., KOM, W. Indoor mobile object tracking using RFID. *Future Generation Computer Systems* 2017, 76: 443-451.
- [16] SOCHA, M., GÓRKA, W., PIASECKI, A., STĘCŁIK, T. Badania dokładności lokalizacji w przestrzeniach zamkniętych z wykorzystaniem sygnału radiowego [Research on precision of the localisation in confined spaces with the use of radio signals] [w:] *Rozprawy i monografie: Informatyka na Śląsku – nowe technologie i zastosowania*, Instytut Techniki Innowacyjnych EMAG, 2015.
- [17] MA, Z., POSLAD, S., BIGHAM, J., ZHANG, X., MEN, L. A BLE RSSI ranking based indoor positioning system for generic smartphones.
- [18] <http://horyzont.awia.com.pl/>
- [19] SAULEWICZ, A. Organizacja ruchu podnośnikowych wózków jezdniowych czołowych w transporcie wewnątrz-zakładowym. *Poradnik*. Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2013.

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.