

dr inż. LESZEK MORZYŃSKI (ORCID: 0000-0003-3534-3284)  
mgr inż. GRZEGORZ SZCZEPAŃSKI (ORCID: 0000-0003-0390-1624)

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: l.morzyns@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0013.8128

# Ocena położenia urządzenia nasobnego na podstawie mocy sygnału radiowego w sieci sensorowej do monitorowania zagrożeń w środowisku pracy

Fot. Archiwum CIOP-PIB



Stężenia i natężenia czynników szkodliwych w środowisku pracy muszą być badane i oceniane pod kątem powodowanych dla pracowników zagrożeń. W warunkach zmiennych parametrów środowiska pracy wykrywanie potencjalnych zagrożeń i szybkie podejmowanie działań zmierzających do ograniczenia narażenia pracowników jest możliwe na podstawie ciągłego monitoringu parametrów środowiska pracy. Do tego celu mogą być wykorzystane bezprzewodowe sieci sensorowe.

W artykule omówiono strukturę i oraz główne zagadnienia opracowywanej w CIOP-PIB sieci sensorowej do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników o zagrożeniach. Przedstawiono zastosowaną metodę lokalizacji ostrzeganego pracownika w obrębie sieci sensorowej, a także wyniki badań mocy sygnału radiowego, na bazie których funkcjonuje ta metoda.

*Słowa kluczowe: środowisko pracy, czynniki szkodliwe, monitoring, bezprzewodowe sieci sensorowe, Wi-Fi, Bluetooth LE, beacon, Internet rzeczy, RSSI*

## Assessment of the position of the wearable device based on the radio signal strength in the sensor network for monitoring hazards in work environment

Concentrations and intensities of harmful factors in the work environment must be tested and assessed for hazards caused to employees. In conditions of changing parameters of the working environment, detection of potential threats and quick action to reduce employee exposure is possible based on the continuous monitoring of working environment parameters. Wireless sensor networks can be used for this purpose. The article discusses the structure and main issues of the sensor network being developed at CIOP-PIB to monitor the work environment and warn employees about hazards. The method used to locate the warned employee within the sensor network was presented, as well as the results of radio signal strength measurements, on which this method works.

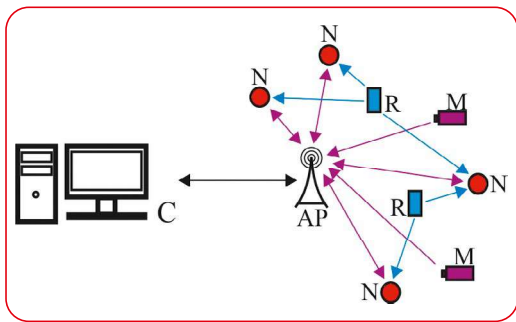
*Keywords: work environment, harmful factors, monitoring, wireless sensor networks, Wi-Fi, Bluetooth LE, beacon, Internet of Things, RSSI*

## Wstęp

Czynniki szkodliwe dla zdrowia pracowników [1] występują powszechnie w środowisku pracy. Według danych GUS [2] w 2018 r. w Polsce w warunkach zagrożenia różnego rodzaju czynnikami występującymi w środowisku pracy pracowało nieco ponad 462 tys. osób, z tego w zagrożeniu hałasem 193,6 tys. Szkodliwość dla zdrowia danego czynnika fizycznego [3], chemicznego czy pyłowego zależy w znacznym stopniu od wartości ich natężeń i stężeń w środowisku pracy [4, 5]. Praca w narażeniu na czynniki, których stężenie lub natężenie przekracza wartości dopuszczalne, prowadzi do powstawania chorób zawodowych [6], a w skrajnych przypadkach – może powodować śmierć pracownika.

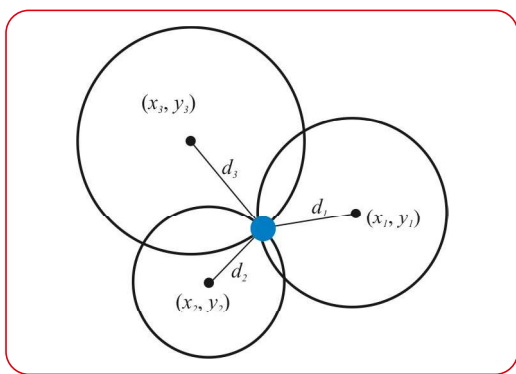
Na mocy obowiązujących przepisów prawa [7] pracodawcy zobowiązani są do dokonywania pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy oraz do ograniczania narażenia na nie pracowników do poziomów nieprzekraczających wartości NDN lub NDS. Zdarza się jednak, szczególnie w małych przedsiębiorstwach, że obowiązki te realizowane są w sposób nieprawidłowy. Stężenie lub natężenie czynników szkodliwych może również ulegać zmianie, np. w wyniku zmian parametrów procesu pracy czy też zużywania się maszyn i narzędzi, powodując zwiększone zagrożenia dla pracowników. W takich przypadkach pracownicy mogą być narażeni na działanie czynnika szkodliwego, występującego w środowisku pracy, przekraczającego wartości NDN lub NDS. Wykrycie zagrożenia oraz szybka i skuteczna reakcja, mająca na celu ograniczenie jego wpływu na zdrowie pracownika, jest w takich przypadkach możliwa przy założeniu ciągłego monitoringu parametrów środowiska pracy.

Monitoring parametrów środowiska pracy, jak również działania związane z zapobieganiem



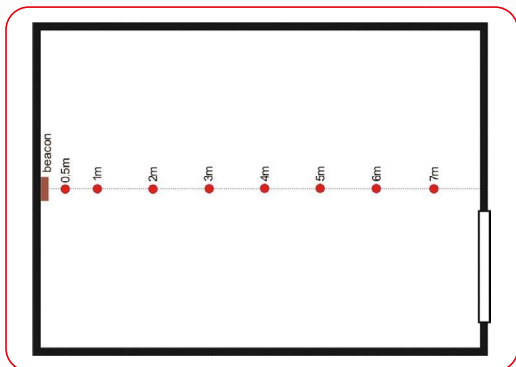
Rys. 1. Schemat opracowywanej sieci sensorowej: M – układ pomiarowy, N – urządzenie nasobne, R – nadajnik radiowy – beacon, AP – punkt dostępowy, C – centrala sieci (komputer), strzałki fioletowe – połączenia bezprzewodowe Wi-Fi, strzałki niebieskie – połączenia bezprzewodowe Bluetooth LE, strzałki czarne – połączenia ethernetowe

Fig. 1. Diagram of developed sensor network: M – measuring device, N – wearable device, R – radio transmitter – beacon, AP – access point, C – network main unit (computer), violet arrows – Wi-Fi wireless connections, blue arrows – Bluetooth LE wireless connections, black arrows – Ethernet connections



Rys. 2. Wyznaczanie położenia obiektu metodą triangulacji: obiekt lokalizowany (odbiornik) – niebieska kropka,  $(x, y)$  – współrzędne położenia nadajników,  $d_n$  – odległość nadajnik-odbiornik

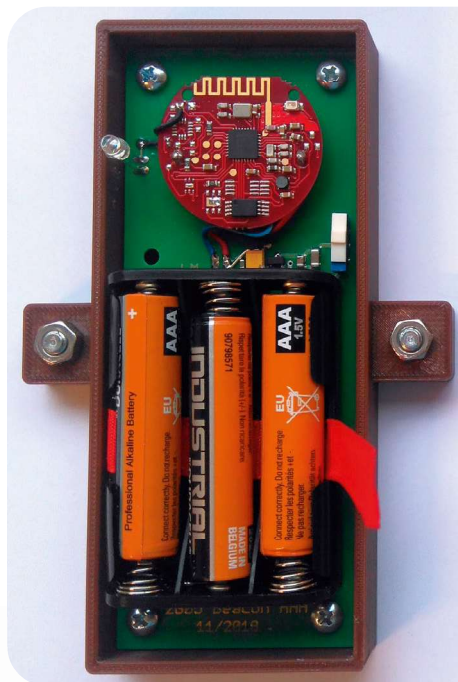
Fig. 2. Determining the location of the object by the triangulation method: localized object (receiver) – blue,  $(x, y)$  – coordinates of transmitters position,  $d_n$  – distance transmitter-receiver



Rys. 3. Schemat laboratorium z lokalizacją punktów pomiarowych  
Fig. 3. The schematics of the laboratory with measuring points determined

narażeniu pracowników na czynniki szkodliwe w nim występujące, mogą być realizowane na podstawie znajdujących coraz szersze zastosowania bezprzewodowych sieci sensorowych (ang. *Wireless Sensor Network* – WSN) [8-10].

Celem artykułu jest przedstawienie informacji na temat sieci sensorowej do monitorowania środowiska pracy i ostrzegania pracowników przed zagrożeniami stwarzanymi przez czynniki szkodliwe dla zdrowia, opracowywanej w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym



Fot. 1. Nadajnik radiowy Bluetooth LE – beacon  
Photo 1. Bluetooth LE radio transmitter – beacon

Instytucie Badawczym, a także dyskusja o możliwości lokalizowania pracowników w obszarze takiej sieci na podstawie mocy sygnału radiowego.

### Sieć sensorowa i możliwości lokalizacji pracownika w obszarze działania sieci

Bezprzewodową sieć sensorową można zdefiniować jako grupę specjalizowanych sensorów oraz układów (urządzeń) wykonawczych wraz z infrastrukturą do komunikacji bezprzewodowej, tworzące sieć, przez którą przekazywane są dane i polecenia sterujące. Przeznaczeniem takiej sieci jest monitorowanie i sterowanie stanem układów fizycznych lub środowiska w różnych lokalizacjach. Jeżeli urządzenia należące do sieci bezprzewodowych mają możliwość bezpośredniego (bez udziału człowieka) komunikowania się pomiędzy sobą z wykorzystaniem Internetu, tworzą tzw. Internet rzeczy (ang. *Internet of Things*, IoT) [11-17].

Sieć sensorowa – umożliwiająca monitorowanie zagrożeń w środowisku pracy i w sposób inteligentny wpływająca na zachowania i działania pracowników i pracodawców, przez co pozwala unikać tych zagrożeń – powinna składać się z autonomicznych urządzeń pomiarowych (sensorów), rozmieszczonych na obszarze przedsiębiorstwa, a także noszonych przez pracowników urządzeń nasobnych (inaczej: ubieralnych, ang. *wearables*), przekazujących im informację o występujących w danym miejscu zagrożeniach. Dzięki temu pracownicy będą mogli modyfikować i dostosowywać swoje zachowanie do panujących warunków środowiska pracy, np. unikać stref zagrożenia czy stosować odpowiednie środki ochrony indywidualnej. Bieżący monitoring środowiska pracy umożliwi również szybką reakcję służby ds. bhp na zmianę lub pojawiające się nowe zagrożenia. Poprawne działanie takiej sieci sensorowej wymaga znajomości położenia pracowników względem obszarów, w których



występują zagrożenia czynnikami szkodliwymi dla zdrowia (stref zagrożenia).

Schemat podstawowy opracowywanej w Instytucie sieci sensorowej przedstawiono na rys. 1.

Głównymi elementami widocznymi na schemacie sieci sensorowej są:

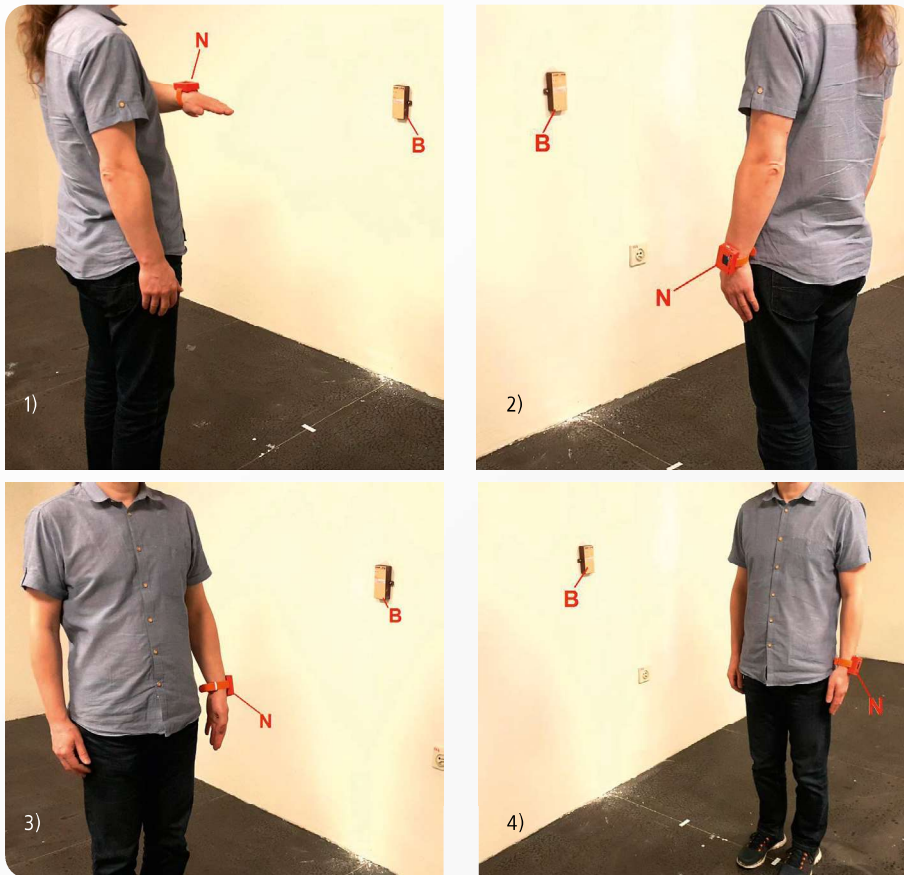
- układy pomiarowe (M) umożliwiające pomiar czynników szkodliwych w środowisku pracy, rozmieszczane w odpowiednio dobranych punktach przedsiębiorstwa

- noszone przez pracowników urządzenia nasobne (N), służące do ostrzegania pracowników przed zagrożeniami, a także umożliwiające ocenę położenia pracowników względem stref zagrożenia

- nadajniki radiowe (R) – tzw. beacons, rozmieszczone w wybranych ściśle zdefiniowanych lokalizacjach na obszarze przedsiębiorstwa i umożliwiające ocenę położenia pracowników.

Sieć sensorowa komunikuje się z komputerem (C) będącym centralą sieci, który gromadzi i przetwarza informacje pochodzące z sieci sensorowej.

Podstawową metodą oceny położenia pracownika w obszarze działania sieci sensorowej jest metoda triangulacji, przyjmująca za podstawę pomiar mocy sygnałów radiowych, docierających z nadajników do odbiornika. Wyjaśnienie tej metody przedstawiono na rys. 2. Znając odległości lokalizowanego obiektu (np. odbiornika w urządzeniu nasobnym) od trzech innych obiektów (nadajników) o znanych położeniach w układzie współrzędnych, można wyznaczyć dokładne położenie lokalizowanego obiektu. Ocena odległości nadajnik-odbiornik w układach bezprzewodowej transmisji radiowej, docierających z nadajników do odbiornika, opiera się na zjawisku spadku mocy sygnału radiowego wraz z oddalaniem się od nadajnika. Znając moc wyjściową nadajnika można oszacować odległość od niego na podstawie mocy sygnału docierającego do odbiornika. Współczesne układy transmisji radiowej, pracujące m.in. w standardach Wi-Fi czy Bluetooth, umożliwiają odczyt mocy sygnału



Fot. 2. Pozycje badawcze (B – beacon, N – urządzenie nasobne)  
 Photo 2. Measuring positions (B – beacon, N – wearable device)

odbieranego w postaci tzw. wskaźnika mocy sygnału odbieranego (ang. *Received Signal Strength Indicator, RSSI*).

Głównym problemem przy korzystaniu z tego rodzaju metody lokalizacji obiektów jest zmienność mocy sygnału odbieranego, wynikająca ze zmiennych warunków propagacji, zależnych m.in. od układu pomieszczenia i obiektów w nim się znajdujących. Na potrzeby realizowanych w CIOPIB prac nad siecią sensorową przeprowadzono badania eksperymentalne, dotyczące oceny mocy sygnału odbieranego w urządzeniu nasobnym w zależności od wzajemnego położenia nadajnika, urządzenia nasobnego (odbiornika sygnału) oraz człowieka użytkującego urządzenie nasobne. W badaniach tych wykorzystano elementy sieci sensorowej, opracowane i wykonane w ramach realizowanych prac rozwojowych.

Opracowane w CIOPIB urządzenie nasobne (widoczne na początku artykułu), ma wymiary obudowy 59 x 44 x 20 mm i formę zegarka, przeznaczonego do noszenia na przedramieniu. Konstrukcja urządzenia jest oparta na module radiowym ESP-WROOM-32. Jedną z funkcji realizowanych przez to urządzenie jest wyświetlanie informacji o mocy sygnałów odbieranych z nadajników radiowych Bluetooth beacon.

Na fot. 1. widać z kolei jeden z opracowanych w CIOPIB nadajników radiowych typu beacon. Wykorzystuje on układ radiowy iNode Beacon, dla którego opracowano wydajny układ zasilania, zapewniający jego długotrwałą pracę. Elementy te wykorzystano w badaniach opisanych dalej.

### Badania mocy sygnału odbieranego w zależności od wzajemnego położenia nadajnika, urządzenia nasobnego (odbiornika sygnału) oraz człowieka je użytkującego

Badania przeprowadzono w pomieszczeniu laboratoryjnym, które na co dzień wykorzystywane jest jako komora do badań akustycznych. Pomieszczenie to wybrano do badań wstępnych ze względu na duże wymiary (długość 8 m, szerokość 5,8 m, wysokość 3 m) i brak wyposażenia mogącego wpływać dodatkowo na pomiary oraz możliwość swobodnego przemieszczania się w jego obrębie. Schemat rozlokowania beacona i punktów pomiarowych w pomieszczeniu przedstawiono na rys. 3. Beacon (fot. 2.) był umieszczony na ścianie w osi głównej pomieszczenia, na wysokości 1,3 m nad powierzchnią podłogi.

Badania prowadzono w stosunku do czterech pozycji urządzenia nasobnego względem ciała osoby noszącej urządzenie nasobne i położenia osoby badanej względem beacona. Pozycje badawcze stosowane w trakcie badań przedstawiono na fot. 2.

Podstawową pozycją badawczą była pozycja 1. W tej pozycji lewa ręka osoby noszącej urządzenie nasobne była zgięta pod kątem prostym, tak że urządzenie nasobne znajdowało się na wysokości klatki piersiowej osoby noszącej urządzenie. Urządzenie nasobne znajdowało się na zbliżonej wysokości do beacona, anteny urządzeń znajdowały się w ustawieniu ortogonalnym względem siebie, a na linii nadajnik-odbiornik nie było prze-

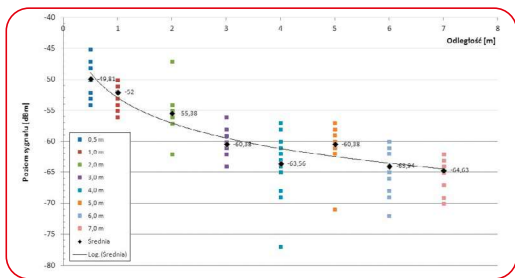
szkód. Pozycja ta umożliwiła też najłatwiejszy odczyt wartości mocy sygnału odbieranego na wyświetlaczu urządzenia nasobnego. W pozycjach badawczych 2, 3 i 4 ręka osoby noszącej urządzenie nasobne ułożona była wzdłuż ciała, co powodowało, że urządzenie nasobne (i znajdujący się w nim odbiornik radiowy) znajdowało się poniżej nadajnika i bliżej ciała osoby noszącej urządzenie. W pozycji 2 osoba stała przodem do nadajnika, w pozycji 3 lewym bokiem do nadajnika, a w pozycji 4 prawym bokiem do nadajnika. Takie ustawienia umożliwiły sprawdzenie wpływu różnej pozycji odbiornika względem nadajnika, a także ciała człowieka (jako ośrodka tłumiącego fale radiowe) na moc odbieranego sygnału.

W każdym z punktów pomiarowych dla pozycji 1 wykonywano po 16 pomiarów w celu oceny zmienności mocy sygnału oraz wyznaczenia jej wartości średniej (rys. 4.). Badania te miały na celu ocenę zmian mocy odbieranego sygnału wraz ze wzrostem odległości nadajnik – przy niezmiennym ustawieniu urządzenia nasobnego względem odbiornika.

W badaniach, których wyniki przedstawiono na rysunkach 5., 6. i 7., sprawdzano wpływ pozycji badawczej, czyli wzajemnego położenia elementów nadajnik-urządzenie nasobne-człowiek, jak również wpływu obudowy beacona, na moc odbieranego sygnału. Badania te przeprowadzono dla wybranych odległości nadajnik-urządzenie nasobne (do oceny wpływu wymienionych parametrów nie jest konieczne wykonywanie badań w każdej odległości). Porównanie wyników z rysunków 4. i 5. pozwala ocenić wpływ obudowy beacona na moc odbieranego sygnału. Z kolei porównanie wyników z rysunków 5. i 6. oraz 4. i 7. pozwala ocenić, jaki wpływ na moc sygnału ma wzajemne położenie nadajnika, odbiornika i ciała człowieka.

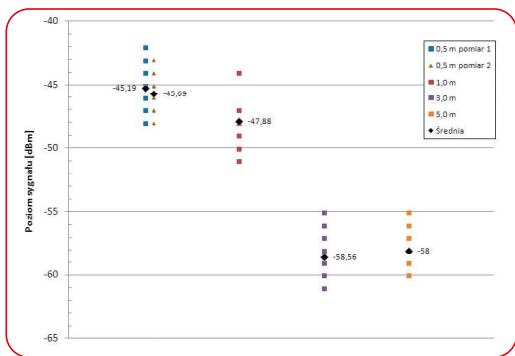
### Dyskusja wyników pomiarów

Na rys. 4. można zaobserwować dużą zmienność wyników odczytu mocy sygnału odbieranego, nawet w przypadku gdy pomiar wykonywany jest w takich samych warunkach pomiarowych. Skrajne wartości pomiaru dla tej samej odległości mogą różnić się nawet o 20 dBm, chociaż rozrzut większości wyników z wielokrotnego pomiaru nie przekracza 10 dBm. Wartość średnia wyników pomiarów maleje w sposób logarytmiczny wraz ze wzrostem odległości beacon – urządzenie nasobne. Można przy tym zauważyć, że w bliższych odległościach od nadajnika (do pewnej odległości granicznej) spadek średniej mocy sygnału wraz z odległością jest monotoniczny i wyraźnie różnialny. W dalszych odległościach od nadajnika średnia moc sygnału odbieranego zmienia się w niewielkim stopniu wraz ze wzrostem odległości i zależność ta niekoniecznie jest malejąca. Fluktuacje wartości mocy sygnału odbieranego w dalszych odległościach nie pozwalają na precyzyjne określenie odległości beacon – urządzenie nasobne. Odległość graniczna (jej wartość) pomiędzy obszarem o obserwowalnym spadku mocy wraz z odległością a obszarem gdzie spadek ten jest trudno zauważalny jest zależna od mocy nadajnika (beacona).



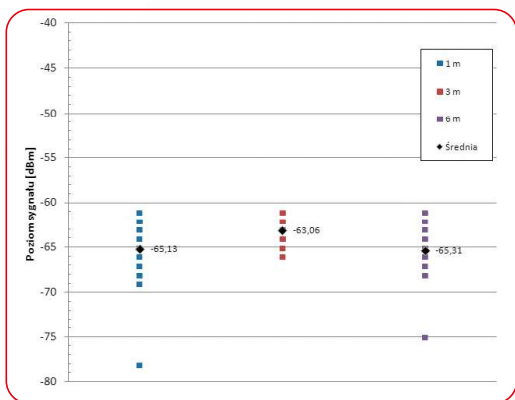
Rys. 4. Wyniki pomiarów mocy sygnału beacona ze zdjętą pokrywą obudowy, w pozycji badawczej 1 (wartości średnie z 16 pomiarów oznaczone czarnymi rombami; linia na wykresie jest logarytmiczną linią trendu wartości średnich)

Fig. 4. The results of the beacon signal strength measurements with the housing cover removed, in measuring position 1 (mean values from 16 measurements marked with black diamonds; the line on the chart represents a logarithmic trend line of mean values)



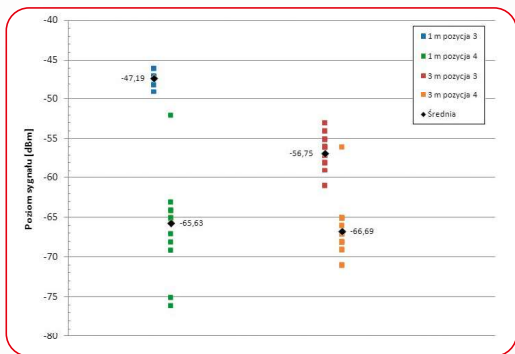
Rys. 5. Wyniki pomiarów mocy sygnału beacona z założoną pokrywą obudowy dla pozycji badawczej 1

Fig. 5. The results of the beacon signal strength measurements with the housing cover on for measuring position 1



Rys. 6. Wyniki pomiarów mocy sygnału beacona ze zdjętą pokrywą obudowy i pozycji badawczej 2

Fig. 6. The results of the beacon signal strength measurements with the housing cover removed and measuring position 2



Rys. 7. Wyniki pomiarów mocy sygnału beacona w przypadku pozycji badawczych 3 i 4

Fig. 7. The results of beacon signal strength measurements for measuring positions 3 and 4

Porównanie wyników badań przedstawionych na rys. 5. i rys. 4. wskazuje, że obudowa beacona, która wykonana jest z tworzywa sztucznego ma nieznaczny wpływ na propagację sygnału radiowego i wartość mocy sygnału odbieranego w urządzeniu nasobnym. W badanym przypadku zaobserwowano wzrost mocy odbieranego sygnału radiowego o ok. 3 dBm. Wynik ten wymaga potwierdzenia w kolejnych badaniach.

Porównanie wyników przedstawionych na rysunkach 4. i 6. oraz 5. i 7. pokazuje, że duży wpływ na propagację sygnału radiowego, a tym samym na odczytywaną wartość mocy sygnału odbieranego ma ciało człowieka i jego ułożenie względem układu beacon – urządzenie nasobne. Różnica w odczycie wartości mocy dla dwóch skrajnych przypadków położenia człowieka w stosunku do układu beacon – urządzenie nasobne może dochodzić do 20 dB. Różnice te są największe w bliskiej odległości od beacona natomiast mniejsze w dalszej odległości. Wskazuje to, że w dalszej odległości na wynik odczytu mocy sygnału znaczący wpływ mają fale odbite.

Omawiane wyniki badań pokazują, że określenie położenia osoby użytkującej urządzenie nasobne w środowisku pracy na podstawie pomiaru mocy odbieranego sygnału radiowego z wykorzystaniem metody triangulacji jest trudnym zagadnieniem w warunkach rzeczywistych. Pojedynczy pomiar mocy sygnałów dochodzących z trzech nadajników może być niewystarczający do określenia położenia pracownika z wystarczającą, dla oceny zagrożenia, dokładnością.

### Podsumowanie

Zastosowanie w praktyce sieci sensorowej, której zadaniem jest ostrzeżenie pracowników przed zagrożeniami, może znacząco przyczynić się do poprawy warunków pracy oraz ograniczenia chorób zawodowych wśród pracowników. Ocena zagrożenia pracownika w obszarze działania sieci sensorowej wymaga oceny jego położenia, które można wyznaczyć metodą triangulacji w oparciu o moce odbieranych sygnałów radiowych pochodzących z rozmieszczonych na terenie zakładu pracy beaconów. Z przedstawionych w artykule wyników badań mocy odbieranego sygnału radiowego w zależności od odległości beacon – urządzenie nasobne można wyciągnąć trzy zasadnicze wnioski:

- wartość mocy sygnału odbieranego nawet dla ustalonych warunków pomiaru może zmieniać się w znaczącym zakresie,
- w bliskiej odległości od beacona daje się zaobserwować spadek średniej mocy sygnału wraz z odległością od beacona, natomiast w dalszej odległości od beacona średnia moc sygnału zmienia się w niewielkim stopniu wraz z odległością i niekoniecznie jest malejąca, a jej fluktuacje nie pozwalają na precyzyjne określenie odległości
- na wartość mocy sygnału odbieranego duży wpływ ma pozycja ciała człowieka nasobnego względem układu beacon – urządzenie nasobne.

Przedstawione wnioski wskazują, że zagadnienie oceny położenia osoby z urządzeniem nasobnym w obszarze działania sieci sensorowej jest zagadnieniem trudnym. Wśród możliwych

rozwiązań, które mogą poprawić dokładność oceny położenia pracowników, można wymienić: zastosowanie beaconów (nadajników) o większej mocy sygnału radiowego, zwiększenie zagęszczenia rozmieszczenia beaconów, wprowadzenie algorytmów uśredniania zmierzonych mocy sygnału, zastosowanie innych, bardziej złożonych metod oceny położenia niż metoda triangulacji, w tym metod probabilistycznych, lub też zastosowanie metod prognozowania położenia np. z wykorzystaniem teorii szarych systemów. Możliwości te zostaną uwzględnione w dalszych etapach prac nad proponowanym rozwiązaniem.

### BIBLIOGRAFIA

[1] KORADECKA, D. (red.) Bezpieczeństwo i higiena pracy, CIOP-PIB, Warszawa 2008.

[2] Główny Urząd Statystyczny, Warunki pracy w 2018 r., Warszawa, Gdańsk 2019.

[3] Serwis internetowy „BEZPIECZNIEJ” - <http://www.ciop.pl/bezpieczniej/>

[4] AUGUSTYŃSKA, D., POŚNIAK, M. Czynniki szkodliwe w środowisku pracy. Wartości dopuszczalne. 2016, Międzyresortowa Komisja ds. Najwyższych Dopuszczalnych Steżeń i Natężeń Czynników Szkodliwych dla Zdrowia w Środowisku Pracy, CIOP-PIB, 2016.

[5] Rozporządzenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 12 czerwca 2018 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych steżeń i natężeń czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy. Dz.U. 2018, poz. 1268.

[6] Instytut Medycyny Pracy im. prof. dramed. Jerzego Nofera, dane o zapadalności na choroby zawodowe [http://www.imp.lodz.pl/home\\_pl/o\\_inytucie/reg\\_and\\_databases/work\\_dissises1/dane\\_o\\_zapadalnosci/](http://www.imp.lodz.pl/home_pl/o_inytucie/reg_and_databases/work_dissises1/dane_o_zapadalnosci/).

[7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 2 lutego 2011 r. w sprawie badań i pomiarów czynników szkodliwych dla zdrowia w środowisku pracy, Dz.U. 2011 nr 33 poz. 166.

[8] BENINI, L., FARRELLA, E., GUIDUCCI, C. Wireless sensor networks: Enabling technology for ambient intelligence. Microelectron. J. 37(12), 1639-1649 (2006).

[9] YANG, S.H., CAO, Y. Networked control systems and wireless sensor networks: Theories and applications. Int. J. Syst. Sci. 39(11), 1041-1044 (2008).

[10] YANG, S.-H., Wireless Sensor Networks – Principles, Design and Applications, Springer, London, 2014.

[11] ASHTON, K. That 'Internet of Things' Thing, RFID Journal, <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>.

[12] GUBBI, J., BUYYA, R., MARUSIC, S., PALANISWAMI, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements and future directions, Future Generation Computer Systems, vol. 29, 2013, pp 1645-1660.

[13] MIORANDI, D., SICARI, S., DE PELLEGRINI, F., CHLAMTAC, I., Internet of things: Vision, applications and research challenges, Ad Hoc Networks, vol. 10, 2012, pp. 1497-1516.

[14] GAGLIO, S., LO RE, G., (Eds.) Advances onto the Internet of Things: How Ontologies Make the Internet of Things Meaningful, Springer, 2014.

[15] KARIMI, K., ATKINSIN, G. What the Internet of Things (IoT) needs to become reality, White Paper, freescale.com / arm.com, <https://www.nxp.com/docs/en/white-paper/INTOTHINGSWP.pdf>

[16] DELICATO, F.C., PIRES, P.F., BATISTA, T. Middleware Solutions for the Internet of Things, Springer, 2013.

[17] CHABANNE, H., URIEN, P., SUSINI, J.-F. (Eds.) RFID and the Internet of Things, ISTE LTD and John Wiley & Sons, London 2011.

*Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „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.*