

## SYSTEMY LOKALIZACJI W CZASIE RZECZYWISTYM W BEZPIECZEŃSTWIE MASZYN

*Streszczenie: Technika RTLS UWB znajduje coraz szersze zastosowanie w inteligentnych systemach wytwórczych do celów usprawnienia organizacji pracy oraz poprawy jakości. Przeprowadzone analizy wykazały, że systemy te mogą być także wykorzystane do redukcji ryzyka związanego z obsługą maszyn. Analizy wypadków zaistniałych w latach 2012-2013 potwierdziły, że nadal istnieje potrzeba doskonalenia środków bezpieczeństwa z wykorzystaniem możliwości najnowszych technologii. Co prawda technika lokalizacji nie będzie skuteczna w ochronie części ciała człowieka, ale może być bardzo przydatna w przypadku konieczności przebywania całym ciałem w strefie zagrożenia. W artykule przedstawiono możliwości zastosowania techniki RTLS UWB w obszarze bezpieczeństwa maszyn.*

### REAL TIME LOCATING SYSTEMS IN SAFETY OF MACHINERY

*Abstract: The RTLS UWB approach has become more and more commonly applied in intelligent manufacturing systems to improve work organization and product quality. The results obtained from the analyses conducted proved that those systems are also applicable to reduction of the risk posed by machine operation. Upon analysis of the accidents happened in the years 2012 and 2013 one can state that there still exists a need for improving safety means making use of potential of advanced technologies. However, the locating technique cannot be effective in protecting particular body parts, it may be useful where the need appears for the whole body to be present (penetrate) at the dangerous zone. The paper presents the RTLS UWB approach applications possibilities in safety of machinery.*

*Słowa kluczowe: bezpieczeństwo maszyn, inteligentne systemy wytwarzania, systemy lokalizacji w czasie rzeczywistym*  
*Keywords: safety of machinery, intelligent production systems, real time locating systems*

### 1. WPROWADZENIE

Wraz z rozwojem techniki powstają nowe, coraz bardziej wydajne maszyny. Zwłaszcza rozwój technik informatycznych i telekomunikacyjnych umożliwia tworzenie tzw. inteligentnych systemów wytwarzania. W systemach takich znacznie ogranicza się udział człowieka w procesie produkcji na rzecz automatyzacji całego procesu. Moce obliczeniowe tych systemów w pierwszej kolejności wykorzystywane są do monitorowania procesu wytwórczego. Coraz częściej są także wykorzystywane do monitorowania poziomu

bezpieczeństwa operatorów systemu. Dzięki temu wzrasta także poziom bezpieczeństwa przy obsłudze maszyn. W dalszym ciągu jednak zdarzają się wypadki występujące przy obsłudze maszyn. Według danych GUS [2], w 2013 roku w sektorze przetwórstwa przemysłowego, a więc głównie przy obsłudze maszyn, miało miejsce ponad 60 tys. Wypadków, w tym 60 wypadków śmiertelnych i 240 wypadków ciężkich. Według PIP [6] ponad 11% tych wypadków spowodowane było przyczynami technicznymi, a zwłaszcza:

- niewłaściwym doбором lub złym stanem technicznym urządzeń ochronnych lub ich brakiem,
- niewłaściwą sygnalizacją zagrożeń lub jej brakiem.

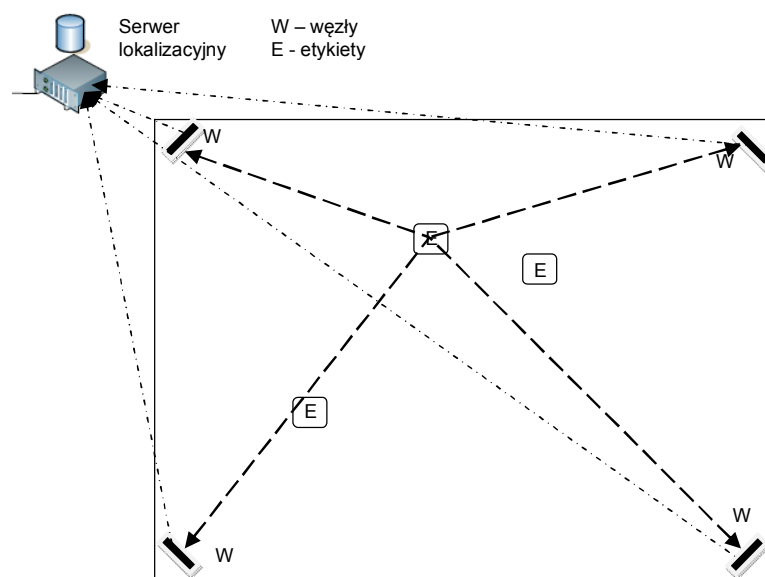
Wskazuje to, jak istotne znaczenie ma rozwój systemów ochronnych do maszyn. Dotyczy to także wykorzystywania możliwości najnowocześniejszych systemów informatycznych i telekomunikacyjnych.

Do najszybciej rozwijających się obecnie technik należą techniki lokalizacji obiektów w czasie rzeczywistym (ang. *Real – time locating systems – RTLS*). Wśród tych technik szczególnie gwałtownie rozwija się technika wykorzystywania do lokalizacji ultraszerokopasmowych sygnałów radiowych (ang. *Ultra-wide band – UWB*). Technika ta znajduje także coraz szersze zastosowanie w inteligentnych systemach wytwórczych. Pojawiające się aplikacje UWB stanowią podstawę do podjęcia badań w zakresie możliwości wykorzystania tej techniki w obszarze bezpieczeństwa maszyn.

## 2. ZASADA DZIAŁANIA SYSTEMÓW RTLS

W systemach RTLS stosuje się bardzo różne technologie lokalizacji. Przykładami są:

- aktywna identyfikacja za pomocą fal radiowych (*Active RFID*),
- promieniowanie podczerwone (*Infrared – IR*),
- lokalizacja optyczna,
- identyfikacja niskoczęstotliwościowa,
- bierne systemy o częstotliwości radiowej RFID,
- identyfikacja ultradźwiękowa (*Ultrasound Identification – US-ID*),
- ultradźwiękowa lokalizacja (*Ultrasonic ranging – US-RTLS*).



Rys. 1. System lokalizacji UWB w technice TDOA

UWB jest rozwijającą się techniką komunikacji bezprzewodowej, która charakteryzuje się wysoką szybkością przesyłania danych (do 2 Gb/s) na niewielkich odległościach (rzędu kilkudziesięciu metrów). UWB pracuje na niskim poziomie mocy, co eliminuje interferencje z innymi systemami radiokomunikacyjnymi oraz pozwala budować urządzenia o niskim poborze mocy. System pracuje w paśmie 3,1–4,85 GHz oraz 6,2–9,7 GHz (*Direct Spread UWB*) lub 3,1–10,6 GHz (*Mutli Band OFDM*). W skład systemu RTLS UWB wchodzi etykiety (urządzenia nadawczo-odbiorcze), stacjonarne węzły oraz serwer lokalizacji (rys. 1). Etykieta lokalizowana jest z użyciem techniki TDOA (ang. *Time Difference of Arrival*), czyli na podstawie różnic czasów przybycia sygnału z etykiety do poszczególnych węzłów oraz współrzędnych określających położenie węzłów [3]. Zastosowanie wielu węzłów umożliwia określenie położenia w trzech wymiarach.

### 3. PRZYKŁADY ZASTOSOWAŃ SYSTEMÓW RTLS UWB

Zakres zastosowań systemów RTLS UWB jest bardzo szeroki. Obejmuje on między innymi [5 i 11]:

- lokalizację i badanie przemieszczania się pracowników w zakładach pracy, personelu i klientów w centrach handlowych,
- lokalizację sprzętu, badanie zakresu jego wykorzystania,
- kontrolę przemieszczania towarów, w tym towarów niebezpiecznych,
- analizę przepływu towarów i klientów,
- lokalizację funkcjonariuszy służb podczas akcji ratunkowych.

W systemie opartym o technologię UWB obiekty mogą być lokalizowane z kilkunastocentymetrową dokładnością. Emisje wytwarzane przez tego typu urządzenia mają niski poziom, dzięki czemu możliwe jest wykorzystanie ich również w tych zakresach częstotliwości, które przeznaczone są dla innych użytkowników widma. Szerokie pasmo emisji UWB czyni je natomiast odpornymi na zakłócenia wprowadzane przez inne systemy wąskopasmowe. Stosunkowo prosta konstrukcja urządzeń pozwala na ich miniaturyzację, zaś małe zapotrzebowanie na energię umożliwia wielomiesięczną, a nawet wieloletnią pracę bez wymiany baterii.

Przykładem zastosowania systemu lokalizacji przy obsłudze maszyn jest monitorowanie pracy linii montażu samochodów. W skład linii o długości 1,7 km wchodzi ponad 150 stanowisk montażowych. Na każdym stanowisku dokonuje się montażu elementów samochodu z użyciem narzędzi mechanicznych, np. kluczy pneumatycznych. Każde narzędzie zostało wyposażone w etykietę UWB. Także każda karoseria montowanego samochodu wyposażona jest w etykietę. Cała linia jest monitorowana przez sieć czujników UWB. W efekcie monitorowane jest położenie ponad 1000 etykiet. Celem lokalizacji etykiet umieszczonych na karoserii samochodu jest monitorowanie stanu zaawansowania prac montażowych. Narzędzia są monitorowane, aby określić ich położenie względem karoserii. W przypadku gdy system lokalizacji stwierdzi, że następuje próba użycia narzędzia w miejscu, gdzie nie powinno być ono używane, informowany jest o tym system sterowania narzędziem, który uniemożliwia jego włączenie. Zapobiega to błędom człowieka w procesie montażu poprzez użycie niewłaściwych narzędzi.

Innym przykładem jest zastosowanie systemu lokalizacji w fabrykach wytwarzających podzespoły samolotów. W tym przypadku poszczególne części samolotu (kadłub, skrzydła, zbiorniki paliwa itp.) wykonywane są w różnych fabrykach w całej Europie, a później następuje montaż końcowy w centrum produkcyjnym. Aby móc szybko i skutecznie

reagować na zamówienia klientów, konieczne jest, aby w centralnej fabryce dostępna była możliwie najbardziej aktualna informacja o stanie zaawansowania prac nad wykonaniem poszczególnych części składowych. Dane o lokalizacji części w hangarach poszczególnych fabryk zbierane są w centrum produkcyjnym. Dzięki temu eliminuje się opóźnienia w zbieraniu danych o aktualnym zaawansowaniu prac i uzyskuje się możliwość szybkiej reakcji na zapotrzebowanie klientów.

Inne zastosowanie ma system lokalizacji zainstalowany w jednej z odlewni stali. W tym przypadku należało rozwiązać problem z lokalizacją i określeniem zawartości kontenerów z odlewami. W tej aplikacji połączono zalety systemu lokalizacji UWB z systemem identyfikacji RFID. System UWB został wykorzystany do lokalizacji wózków widłowych w magazynie. Natomiast wszystkie wyroby wyposażone są w etykiety RFID zawierające informację o ich identyfikacji i wadze. Dzięki temu został ograniczony czas niezbędny na znalezienie potrzebnego elementu przez dostępny w tym czasie wózek.

Przykładem zastosowań związanych z bezpieczeństwem są zakłady chemiczne. W tym przypadku występuje konieczność przebywania pracowników w pobliżu składowisk toksycznych odpadów chemicznych. Wiązą się z tym znaczne zagrożenia związane z możliwością nagromadzenia się toksycznych oparów w ograniczonej przestrzeni, a także z możliwością wybuchu lub pożaru. W takim przypadku niezbędne jest zorganizowanie natychmiastowej ewakuacji wszystkich zagrożonych. Jest to możliwe dzięki ciągłemu monitoringowi ich lokalizacji w obszarze składowiska.

Podobna sytuacja ma miejsce w jednej z elektrowni atomowych. W tym przypadku zagrożeniem jest promieniowanie radioaktywne na terenie elektrowni. Wszyscy pracownicy wyposażeni zostali w dozymetry z systemem WFI oraz w etykiety UWB. Dozymetry przekazują informacje o natężeniu promieniowania, a system lokalizacji pozwala określić czas przebywania pracownika w warunkach zagrożenia. Dzięki temu określana jest dawka promieniowania w trybie ciągłym. Pozwala to na właściwe zorganizowanie pracy, tak aby nie przekroczyć wartości dopuszczalnych promieniowania radioaktywnego przez każdego pracownika.

Przedstawione, wybrane przykłady zastosowań systemów lokalizacji ukazują ich potencjał w tworzeniu nowoczesnych systemów przemysłowych. Przykłady te pokazują zastosowania ukierunkowane przede wszystkim na jakość i wielkość produkcji, ale zawierają także pierwsze próby wykorzystania tych systemów w obszarze bezpieczeństwa pracy. Jak dotychczas brakuje doniesień o wykorzystaniu systemów RTLS w obszarze bezpieczeństwa maszyn. Aktualnie do wykrywania obecności bądź wtargnięcia w strefę niebezpieczną są stosowane urządzenia ochronne, takie jak: kurtyny i promienie świetlne, skanery laserowe, urządzenia czułe na nacisk. Urządzenia te nie monitorują położenia pracownika. Alternatywę dla tych urządzeń mogą stanowić systemy oparte o technologię UWB, które pozwalałyby na monitorowanie położenia pracownika w dowolnym momencie, a nie tylko wtedy, gdy wkracza w strefę niebezpieczną maszyny. Pokazane zastosowania UWB w inteligentnych systemach wytwarzania pozwalają na sformułowanie założenia, że już w najbliższej przyszłości można spodziewać się także zastosowań do ograniczania ryzyka przy obsłudze maszyn.

#### 4. ANALIZY WYPADKÓW PRZY MASZYNACH W ASPEKCIE ZAPOBIEGAWCZYCH ZASTOSOWAŃ RTLS UWB

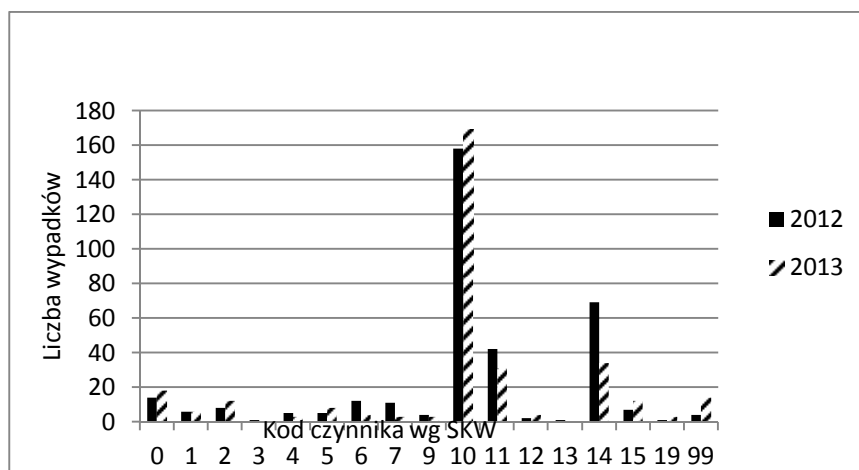
Podstawowym źródłem informacji dotyczących możliwości stosowania środków ochronnych są zawsze dane o wypadkach, które już miały miejsce. W naszym przypadku analiza tych zdarzeń prowadzona była w aspekcie wskazania, kiedy zastosowanie systemu lokalizacji pracownika mogłoby zapobiec wypadkowi. Do analizy wykorzystane zostały dane zawarte w bazie danych o wypadkach, które miały miejsce w przemyśle wytwórczym, udostępnionej przez Państwową Inspekcję Pracy. Były to dane o wypadkach mających miejsce w latach 2012-2013 w sekcji przetwórstwa przemysłowego. Z bazy danych zostały wybrane przez pracowników PIP wypadki oznaczone kodem PKD „C – Przetwórstwo przemysłowe”. Przewagą bazy danych PIP nad bazą danych GUS jest zamieszczenie w niej, oprócz danych zawartych w Statystycznej Karcie Wypadków (SKW), także krótkich opisów wypadków. Opisy te umożliwiają wskazanie, jakie ewentualne środki zapobiegawcze byłyby skuteczne w każdym konkretnym przypadku.

Ponieważ interesują nas wypadki, które miały miejsce przy obsłudze maszyn, więc z całego wykazu wypadków należało wybrać te, które związane były z maszynami. W tym celu posłużono się klasyfikacją czynnika związanego z odchyleniem. Na rysunku 2 pokazano częstość występowania czynników materialnych związanych z odchyleniem wg kodów SKW. Jak widać, w wypadkach występujących w przemyśle przetwórczym dominujące są następujące czynniki:

- 10 – Maszyny, urządzenia i wyposażenie stacjonarne.
- 11 – Maszyny, urządzenia i wyposażenie do podnoszenia, przenoszenia i magazynowania.
- 14 – Materiały, przedmioty, wyroby, części maszyn.

Natomiast z dalszych analiz zostały wyeliminowane wypadki, w których jako czynnik związany z odchyleniem wskazano inny niż różnego rodzaju maszyny. W efekcie pozostało:

- w 2012 roku – 261 wypadków ciężkich i 32 śmiertelne,
- w 2013 roku – 250 wypadków ciężkich i 29 śmiertelnych.



Rys. 2. Czynniki związane z odchyleniem według SKW

Oznacza to, że w przemyśle przetwórczym ponad 70% wypadków związanych jest z obsługą maszyn. Następnie dokonano eliminacji wypadków według wydarzenia powodującego uraz. Przyjęto, że posiadanie informacji, o lokalizacji pracownika nie przyczyniłoby się do

zapobiegnięcia wypadkom, w których wydarzeniem powodującym uraz było wydarzenie z następujących grup:

- 1 – Kontakt z prądem elektrycznym, temperaturą, niebezpiecznymi substancjami i preparatami chemicznymi.
- 2 – Tonicie, zakopanie, zamknięcie.
- 3 – Zderzenie z/uderzenie w nieruchomy obiekt.
- 41 – Uderzenie przez wyrzucony obiekt.
- 42 – Uderzenie przez spadający obiekt.
- 43 – Uderzenie przez kołyszący się obiekt.
- 7 – Obciążenie fizyczne lub psychiczne.

Ostatecznie do szczegółowej analizy pozostało:

- w 2012 roku – 207 wypadków ciężkich i 14 śmiertelnych,
- w 2013 roku – 201 wypadków ciężkich i 15 śmiertelnych.

Dokonano szczegółowej analizy opisów tych wypadków. Celem analizy było wskazanie wypadków, którym można byłoby zapobiec, stosując systemy lokalizacji pracowników. Ponieważ systemy te umożliwiają lokalizację całego ciała człowieka, a nie jego części, odrzucono wypadki, podczas których osoba poszkodowana podczas normalnej obsługi maszyny znajduje się w pobliżu elementów ruchomych. Do dalszych analiz pozostawiono wypadki, które związane były z przebywaniem osoby poszkodowanej w obszarze, w którym nie powinna się ona znajdować w trakcie ruchów niebezpiecznych części maszyny. Następnie szczegółowo przeanalizowano przebieg i przyczyny tych wypadków. Okazało się, że wypadki te były związane z następującymi zdarzeniami:

- automatyczne uruchomienie maszyny w czasie, gdy pracownik przebywał w strefie zagrożenia,
- uruchomienie maszyny przez operatora w czasie, gdy pracownik przebywał w strefie zagrożenia,
- potrącenie przez wózek transportowy.

W karcie SKW wskazano następujące procesy pracy, podczas których doszło do tych wypadków:

- 11 – produkcja, przetwarzanie,
- 51 – przygotowywanie, instalowanie, montowanie, demontowanie itp.,
- 52 – konserwacja, naprawa, regulacja,
- 53 – czyszczenie, sprzątanie,
- 61 – przemieszczanie się, w tym środkami transportu.

Przeprowadzona analiza wykazała także, że maszyny, przy których doszło do wypadku, wchodziły w skład większych systemów produkcyjnych, np. zautomatyzowanych linii produkcyjnych. Oczywiście, w każdym z tych przypadków zastosowano niewystarczające urządzenia ochronne lub nie przestrzegano procedur postępowania. Natomiast zastosowanie systemu lokalizacji jako dodatkowego systemu ochronnego, np. blokującego automatyczne uruchomienie ruchu niebezpiecznego lub informującego operatora maszyny, że w strefie zagrożenia znajdują się pracownicy, mogłoby zapobiec tym wypadkom. Przeprowadzona analiza wskazuje, że przy określaniu celowości zastosowania systemu lokalizacji do ochrony operatora należy przede wszystkim rozważyć stanowiska pracy:

- operatorów zautomatyzowanych systemów wytwarzania,
- operatorów maszyn, w których brakuje widoczności na wszystkie strefy zagrożenia,
- monterów pracujących na liniach montażowych,
- operatorów wózków widłowych.



## 5. PODSUMOWANIE

Podstawowe zasady stosowania urządzeń ochronnych do maszyn prowadzą do następujących konkluzji [1]:

- wypadek może się zdarzyć tylko wtedy, kiedy człowiek lub część jego ciała znajdzie się w strefie zagrożenia,
- sytuacja taka jest możliwa, jeśli strefy dostępne przez operatora docierają do stref zagrożenia,
- projektant maszyny powinien zastosować wszelkie możliwe środki, aby zapewnić, że w maszynie nie będą występowały obszary wspólne dla stref zagrożenia i stref dostępnych.

Rozdzielenie stref dostępnych przez operatora od stref zagrożenia może być zrealizowane na dwa sposoby:

- usunięcie strefy dostępnej przez operatora ze strefy zagrożenia (przegrody, obudowy, ściany, siatki, drzwi itp.),
- usunięcie strefy zagrożenia ze strefy dostępu operatora w czasie, gdy on tam przebywa (urządzenia ochronne wykrywające położenie części ciała człowieka w celu realizacji funkcji bezpieczeństwa polegającej na awaryjnym zatrzymaniu ruchu niebezpiecznego).

W nowoczesnych systemach coraz częściej do realizacji funkcji bezpieczeństwa stosowane są urządzenia czujnikowe, a więc urządzenia, które wykrywają położenie czujników, a w konsekwencji obiektów, na których czujniki te są zainstalowane [10]. Przykładem takiego urządzenia jest system RTLS [3] i [4]. Zwłaszcza analizy wypadków zaistniałych w latach 2012-2013 potwierdziły, że nadal istnieje potrzeba doskonalenia środków bezpieczeństwa z wykorzystaniem możliwości najnowszych technologii. Co prawda technika lokalizacji nie będzie skuteczna w ochronie części ciała człowieka, ale wybrane przykłady wypadków pokazują, że może być bardzo przydatna w przypadku konieczności przebywania całym ciałem operatora w strefie zagrożenia. Dotyczy to stanowisk pracy, na których:

- w trakcie wykonywania działań produkcyjnych konieczny jest dostęp do strefy zagrożenia całym ciałem operatora,
- dostęp do stref zagrożenia jest konieczny jedynie w przypadkach działań nie związanych bezpośrednio z produkcją, takich jak regulacje, naprawy, czyszczenie, sprzątanie,
- operator maszyny nie ma możliwości obserwacji wszystkich stref zagrożenia w maszynie.

Przykładami takich stanowisk pracy są stanowiska obsługi:

- zautomatyzowane systemy wytwarzania,
- linie montażu wielkogabarytowego,
- obrabiarki wielkogabarytowe,
- długie linie transportowe,
- wózki transportowe.

Zastosowanie systemów lokalizacji do blokowania startu, kontroli dostępu oraz informowania i ostrzegania o obecności osób w strefach zagrożenia może przyczynić się do zmniejszenia liczby wypadków w przemyśle wytwórczym. Jednocześnie, systemy użyte w takich zastosowaniach powinny spełniać dodatkowe wymagania, wynikające z realizacji funkcji bezpieczeństwa. Ponieważ aktualnie brakuje norm dotyczących takich zastosowań systemów RTLS, przy ich ocenie należy kierować się normą PN EN 61496-1 [8].

\*\*\*

Publikacja przygotowana na podstawie wyników badań prowadzonych w ramach III etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” dofinansowanego w latach 2014-2016 w zakresie projektów badawczych rozwojowych przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Główny koordynator: Centralny Instytut Ochrony pracy – Państwowy Instytut Badawczy

## LITERATURA

- [1] Dźwiarek M.: *Basic Principles for Protective Equipment Application*: In: Handbook of Occupational Safety and Health Koradecka D., (ed.) © CRC Press, Taylor & Francis Group, LCC, 2010, pp. 579-592.
- [2] Główny Urząd Statystyczny. Rocznik statystyczny przemysłu, Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa 2014.
- [3] Gomez J., Tayebi A., del Corte A., Gutierrez O., Gomez J.M., de Adana F.S: *A Comparative Study of Localization Methods in Indoor Environments*, Wireless Personal Communications, 72/4, 2013, pp. 2931-2944.
- [4] Guyoun H., Dongkyoo S., Dongil S. et al.: *Design and Implementation of the Ubiquitous Sensor Network-Based Monitoring System Using RTLS (Real-Time Location System)*, Sensor Letters, 11/9, 2013, pp. 1721-1725.
- [5] Hirt W.: *Ultra-wideband radio technology: overview and future Research*, Computer Communications, 26/2003, pp. 46-52.
- [6] Państwowa Inspekcja Pracy. Sprawozdanie z działalności Państwowej Inspekcji Pracy w 2013 r., Warszawa 2014.
- [7] PN EN-ISO 13849-1:2008E Bezpieczeństwo maszyn – Elementy systemów sterowania związane z bezpieczeństwem – Część 1: Ogólne zasady projektowania.
- [8] PN-EN 61496-1:2014-02 Bezpieczeństwo maszyn – Elektroczułe wyposażenie ochronne – Część 1: Wymagania ogólne i badania.
- [9] Projekt Recommendation for use przygotowany przez: Vertical Group No. 11 – Safety Components of European Co-ordination of Notified Bodies – Machinery Directive 2006/42/EC + Amendment, dotyczący: RFID based protective devices (Urządzenia ochronne wykorzystujące technikę RFID).
- [10] Seppä H.: *The future of sensor networks*, VTT Impulse, 2012, pp. 20-27.
- [11] Ultra-Wideband Radio Technologies for Communications, Localization and Sensor Applications. Reiner T. Reinhard H., Jürgen Sachs J., Ingolf W. and Zwick T., editors. InTech, 2013.