

Dr inż. Piotr SZULEWSKI,  
dr inż. Mirosław NEJMAN (Politechnika Warszawska):

## MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA BEZPRZEWODOWEJ TRANSMISJI DANYCH POMIAROWYCH W OTOCZENIU OBRABIARKI

### Streszczenie

Przedstawiono koncepcję pracy badawczej mającej na celu zweryfikowanie możliwości wykorzystania krótkodystansowej transmisji bezprzewodowej w otoczeniu obrabiarki. Taka transmisja może posłużyć do tworzenia autonomicznych systemów pomiarowych monitorujących trudnodostępne miejsca/zespoły w obrabiarkach lub skomplikowane procesy technologiczne – tam, gdzie nie jest możliwe zastosowanie tradycyjnych systemów akwizycji. Rozpoznano teoretyczną naturę zjawiska i określono główne zagadnienia z tym związane. Zaproponowano plan badań i kryteria oceny oraz opisano przygotowane zestawy sprzętowe i oprogramowanie. Wynikiem przeprowadzonych badań będzie sformułowanie zaleceń dotyczących konstrukcji tego typu urządzeń.

**Słowa kluczowe:** *systemy pomiarowe, transmisja bezprzewodowa, monitorowanie maszyn, akwizycja danych*

## VERIFICATION OF WIRELESS DATA TRANSMISSION IN MACHINE TOOLS ENVIRONMENT

### Abstract

This paper presents conception of the research for verification of short distance wireless data transmission close to the machine tools environment. This kind of communication seems to be an adequate solution for autonomous data acquisition modules used to monitor the difficult access places in technological components or processes - wherever standard method of acquisition is not effective or impossible to use. The theoretical knowledge is initially recognized and the main issues were specified. The research plan is proposed, also the assessment criteria are set. The unique, dedicated laboratory stands and software are briefly described. The basic recommendations for future design and utilization will be formulated as research result.

**Keywords:** *measuring systems, wireless transmission, machine monitoring, data acquisition*

# MOŻLIWOŚCI WYKORZYSTANIA BEZPRZEWODOWEJ TRANSMISJI DANYCH POMIAROWYCH W OTOCZENIU OBRABIARKI.

Piotr SZULEWSKI<sup>1</sup>, Mirosław NEJMAN

## 1. WPROWADZENIE

Głównym celem przygotowywanego eksperymentu jest zweryfikowanie możliwości budowy rozproszonego, krótkodystansowego systemu pomiarowego wykorzystującego do przesyłania danych medium radiowe z niewielkimi mocami transmisji w niesprzyjającym propagacji otoczeniu obrabiarki znajdującej się w środowisku przemysłowym.

Jak się wydaje do głównych zalet bezprzewodowych systemów transmisji danych można bezspornie zaliczyć:

- Mobilność – możliwość praktycznie swobodnej zmiany położenia komunikujących się urządzeń,
- Praca w przypadku zabudowy w kinematycznych parach obrotowych,
- Unikanie konieczności wykonywania okablowania i brak potrzeby sprawdzania (weryfikacji) instalacji,
- Łatwość i szybkość instalacji systemu a także jego uruchomienia,
- Niski pobór mocy (możliwość pracy z lokalnych źródeł energii).

Środowisko przemysłowe praktycznie całkowicie różni się od tradycyjnych warunków biurowych. Wysokie temperatury, zanieczyszczenia stałe i lotne, drgania, znaczne odległości i przestrzenie a przede wszystkim wiele potencjalnych i faktycznych źródeł silnych zakłóceń elektromagnetycznych mający negatywny wpływ na rozprzestrzenianie się użytecznego sygnału radiowego. Czujniki, komputery, sterowniki, mikrokontrolery, przekształtniki czy napędy elektryczne wszystkie te urządzenia (nie-

---

<sup>1</sup> Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Produkcji ul. Narbutta 86, 02-524 Warszawa, email: maxer@cim.pw.edu.pl

zbędne w produkcji) skutecznie mogą zagłuszać proces komunikacji bezprzewodowej [8].

Należy zauważyć, że obecnie na rynku istnieje bardzo szeroki wybór tanich i łatwych w implementacji układów radiowych pracujących w pasmie 2,4 GHz szczególnie w standardzie WiFi, ZigBee, Wibree, Simple MAC oraz Bluetooth. Wynikiem jest bardzo intensywna rozbudowa tej struktury oraz coraz powszechniejsze wykorzystywanie połączeń bezprzewodowych w tym właśnie zakresie częstotliwości, co powoduje z kolei bardzo duży poziom wzajemnych zakłóceń i zmniejszanie, jakości oraz stabilności uzyskiwanego połączenia [14]. Negatywne efekty tego zjawiska są coraz powszechniej obserwowane i powodują poszukiwanie innych zakresów częstotliwości mogących być swobodnie wykorzystywanymi.

Rozprzestrzenianie się fal elektromagnetycznych o częstotliwościach radiowych w pomieszczeniach zamkniętych i zabudowanych jest zagadnieniem bardzo skomplikowanym i niejednorodnym. Można je charakteryzować następującymi właściwościami:

- niewielkie lub bardzo małe odległości pomiędzy poszczególnymi przeszkodami znajdującymi się w torze radiowym,
- różnorodność materiałów, z których wykonane są przeszkody,
- zmienność kształtów i położenia przeszkód (np. ścianki działowe, stropy, podłogi, drzwi, osłony, itp.),
- występowanie przeszkód ruchomych (stoły, maszyny mobilne, ludzie, transportery, podajniki, itp.),
- okresowo niewielkie odległości pomiędzy wymieniającymi się sygnałami urządzeniami.

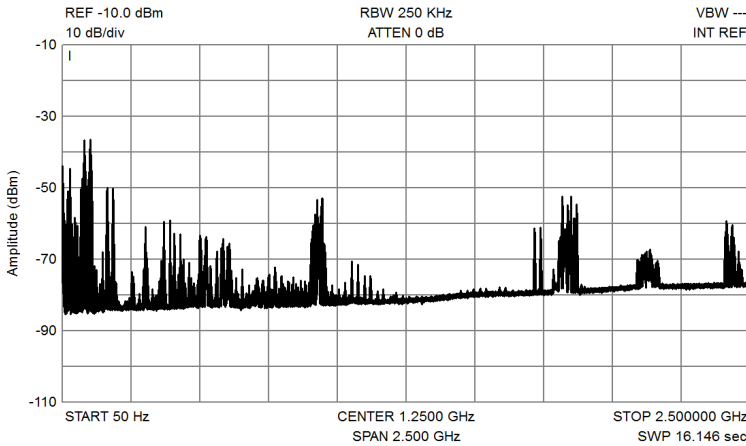
Dlatego też zdecydowano się na przeprowadzenie badań z wykorzystaniem zakresu częstotliwości odmiennego od popularnych standardów ufając, że aktualne, powszechne trendy nie zawsze muszą być synonimem dobrych rozwiązań. Ze względu na brak w dostępnej literaturze szczegółowych informacji o warunkach propagacji fali radiowej w celu przybliżonej weryfikacji, zostaną sprawdzone dwa odległe od siebie pasma radiowe (433 MHz i 868 MHz) należące do zakresu określanego mianem ISM (ang. Industrial, Scientific, Medicine). Są one nielicencjonowane i mogą być swobodnie używane do celów badawczych.

## 2. NATURA ZJAWISKA

Obecnie podstawowym dokumentem regulującym dozwolone parametry instalacji radiowych jest rozporządzenie numer 1955 wydany przez Ministra Infrastruktury z dnia 24 października 2005 r., które określa, iż omawianym przedziale częstotliwości (433 MHz i 868 MHz) możliwa jest praca urządzeń nadawczo-odbiorczych z mocą odpowiednio nieprzekraczającą 10 mW (10 dBm) i 25 mW (14 dBm) przy założeniu,

że jest to efektywna moc wypromieniowana ERP (ang. Effective Radiated Power) [7].

Jedną z głównych przeszkód w swobodnym wykorzystaniu możliwości transmisji bezprzewodowych stanowią zakłócenia elektromagnetyczne EMI (ang. ElectroMagnetic Interference) pochodzące z najróżniejszych źródeł.



Rys. 1. Wykres widma sygnałów w hali fabrycznej (WIP PW)

Mogą być one określone w postaci dwóch głównych typów. Jako wąsko i szerokopasmowe (ang. narrowband and broadband). Szerokopasmowe sygnały radiowe charakteryzują się wysoką energią i stałym rozkładem energii w całym paśmie występowania. Zazwyczaj pojawiają się przypadkowo i mają charakter fluktuacyjny. Natomiast sygnały wąskopasmowe dysponują zazwyczaj znacznie mniejszą energią, skupioną na znacznie mniejszym paśmie. Źródła ich są przeważnie określone i związane z typem przetwarzania energii elektrycznej.

Przykład zmierzonego widma sygnałów elektromagnetycznych zarejestrowanych w typowej hali fabrycznej (WIP PW, Gmach Stary Technologiczny) jest przedstawiony na rys. 1. Zakres przebadanych częstotliwości to 50 Hz – 2,5 GHz (zasilająca sieć energetyczna – pasmo transmisji WiFi).

Na wykresie widoczne jest wyraźne skupienie grupy sygnałów w dolnej części pasma (poniżej 1000 MHz), co jest niewątpliwie niezbyt korzystne wobec sygnałów użytecznych używanych w eksperymencie. Dodatkowo, jako zdecydowanie niekorzystną cechą, należy uznać dużą moc (do – 37 dBm), jaką dysponują sygnały stanowiące tło radiowe (w interesującym nas obszarze widma) – jak należy przypuszczać mogą one skutecznie zagłuszać słabsze sygnały użyteczne [3].

Niestety ze względu na fakt, iż zmienne warunki propagacji, przeszkody i utrudnienia nie są czynnikiem powtarzalnym trudnym jest sporządzenie jednoznacznego i standardowego opisu z wykorzystaniem matematycznych zależności.

W związku z tym znanych jest w literaturze wiele modeli stanowiących próbę opisaną rozprzestrzeniania się sygnału radiowego w warunkach pomieszczeń. Jako przykłady najbardziej znane można wymienić modele: ITU-R, propagacji wielodrogowej, One-Slope, liniowej, Motleya-Keenana, Multi-Wall, rozpraszania Rayleigh'a, i inne [1]. Należy zauważyć, że modele te stanowią znaczne uproszczenie zjawisk występujących w rzeczywistości i nie mogą być postrzegane, jako kompletny i precyzyjny opis [14]. Ewentualny błąd wynikowy modelu, w przypadku jego niewłaściwego zastosowania może odbiegać nawet kilkanaście dBm w stosunku do rzeczywistej wartości pomierzonej – co może powodować znaczne utrudnienie przeprowadzanej analizy i prowadzić do fałszywych wniosków [9].

### 3. KONCEPCJA BADAWCZA

Celem uzyskania miarodajnych wyników postanowiono przeprowadzić badania dla dwóch różnych obrabiarek: Tradycyjna, ze sterowaniem ręcznym (tokarka typ TUD-50) oraz centrum frezarskie ze sterowaniem NC (Cincinnati Arrow 500). Eksperymenty będą realizowane w dwóch różnych trybach: (A1) maszyna załączona i wszystkie napędy zasilone (A2) maszyna wyłączona. Jako baza odniesienia dla porównania wyników zostaną także przeprowadzone testy komunikacji w swobodnych warunkach idealnych – w oddaleniu od źródeł zakłóceń. W eksperymentach, dla uzyskania dokładnego obrazu badanego zjawiska bezprzewodowego przesyłania danych analizowanych będzie kilka istotnych parametrów łącza komunikacyjnego.

Jako naturalne należy przyjąć zjawisko spadku siły sygnału w miarę wzrostu odległości pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Jest to związane z dyssypacją energii w przestrzeni wynikającą z zasady zachowania energii. Powszechnie przyjętym jest przedstawianie tej zależności w postaci równania Friis'a. Postępując zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Unii Telekomunikacyjnej (ITU) bilans łącza komunikacyjnego, przy założeniu propagacji w swobodnej przestrzeni, wyraża się ogólnie wzorem numer 1. W omawianym przypadku zastosowano uproszczoną formułę matematyczną [6]:

$$RSPL = 20 \log_{10}(d) + 20 \log_{10}(\alpha) + 32,44 - G_{tx} - G_{rx} \text{ [dB]} \quad (1)$$

gdzie:  $d$  – odległość pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem (m),  $\alpha$  – częstotliwość fali nośnej (Hz),  $G_{tx}$  - zysk energetyczny anteny nadajnika w stosunku do źródła izotropowego (dBi),  $G_{rx}$  - zysk energetyczny anteny odbiornika w stosunku do źródła izotropowego (dBi),

Przykładowo dla dwóch rozważanych częstotliwości (433 i 868 MHz) teoretyczna utrata mocy sygnału użytecznego na odległości 2 m wyniesie odpowiednio 31dB i 37dB, co z pewnością stanowi znaczną wartość. W praktyce jedynie łączność satelitarna może być uznawana za zgodną z powyższymi wymaganiami. Ze względu na

znaczne skomplikowanie realnej przestrzeni w literaturze zdecydowanie częściej przytacza się prostsze zależności, których charakter, w przeciwieństwie do równania Friis'a nie jest oparty na prawach fizyki, lecz na modelach statystycznych wynikających z przeprowadzonych badań – jednak odnoszą się one do specyficznych warunków [4,10]. Często praktyką jest wykorzystywanie wskaźnika mocy sygnału RSSI (ang. Radio Signal Strength Indicator), zwłaszcza, że parametr ten jest łatwy do odczytania za pomocą programów komputerowych obsługujących bezprzewodowe urządzenia sieciowe. Informuje on o poziomie mocy odbieranego sygnału w antenie odbiorczej. Większa wartość RSSI oznacza silniejszy sygnał. Jednak należy zauważyć, że jednostki te są niemianowane i dowolnie interpretowane przez producentów sprzętu i oprogramowania konfigurującego [15]. Nie jest zdefiniowana żadna stała relacja pomiędzy wartością wskaźnika RSSI a rzeczywistym poziomem mocy sygnału wyrażanym w jednostkach mocy  $W$  lub  $dBm$ . Pomiar taki ma więc charakter przybliżony.

W środowisku rzeczywistym, na drodze sygnału radiowego przenoszącego użyteczną informację znajdują się różnorakie przeszkody wprowadzające dodatkowe jego osłabienie. Czynnikiem bardzo negatywnie wpływającym na sposób oraz jakość propagacji sygnału w zamkniętej przestrzeni np. budynku, hali maszyn, magazynie jest zdolność materiałów konstrukcyjnych do pochłaniania energii sygnału, czyli tłumienie sygnału [2]. Wartość tego czynnika jest wyrażana w mierze  $dB$ . Każdy materiał konstrukcyjny charakteryzuje się właściwą wartością tłumienia. Tłumienie jest zależne nie tylko od rodzaju materiału, jego grubości, ale także od częstotliwości danego sygnału [5]. Obliczone długości fal radiowych dla przyjętych częstotliwości 433MHz i 868 MHz wynoszą odpowiednio 0,693m, 0,346m. Przeszkody, zasłony, ekrany mające wymiary zbliżone do wielokrotności długości fali stanowią najniekorzystniejsze warunki propagacji sygnału.

#### 4. BADANIA

W planowanych badaniach wyznacznikiem jakości połączenia będą parametry oznaczane jako:

$$E_f = \frac{P_o}{P_w} * 100\% \quad (2)$$

gdzie:  $E_f$  - Efektywność transmisji obliczana jako stosunek ilości pakietów odebranych  $P_o$  do pakietów wysłanych  $P_w$ , Miara ta będzie wyrażana w procentach. Większa wartość oznaczać będzie lepszą jakość realizowanej transmisji;

$$P_{rz} = \frac{P_w}{t} [bps] \quad (3)$$

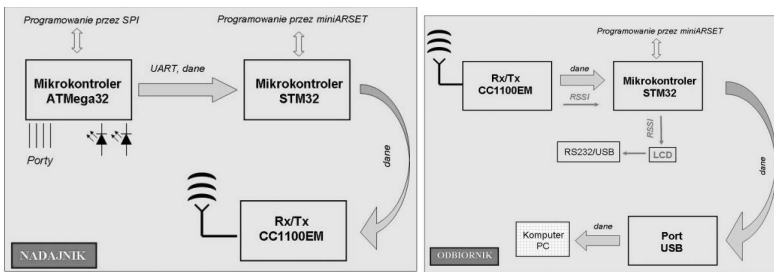
gdzie:  $P_{rz}$  – przepustowość transmisji określana jako  $P_w$  rzeczywista ilość poprawnych danych odebranych w jednostce czasu  $t$ . Miara ta wyrażana jest w bitach na se-

kundę. Większa wartość oznaczać będzie lepszą jakość realizowanej transmisji. Przyjęta zostanie minimalna, akceptowalna wartość przepustowości wynikająca z oczekiwań związanych z ilością danych generowanych podczas pomiarów. Jako wskaźnik wykorzystywany będzie RSSI [13].

Celem uzyskania miarodajnych wyników przeprowadzone zostaną następujące badania: **(B1)** przepustowość i stabilność połączenia radiowego w funkcji odległości dla rzeczywistego środowiska bez występujących zakłóceń radioelektrycznych (poza hałą fabryczną) mogących niekorzystnie interferować z badanym sygnałem użytecznym. Transmisja pojedynczych pakietów o rozmiarze 1 bajt do 64 bajtów. Dla dwóch wartości mocy transmisji – maksymalnej (+10 dBm) i minimalnej (-30 dBm). Dla dwóch wartości szybkości transmisji łącza szeregowego (2400 bit/s oraz 38400 bit/s). Weryfikacja maksymalnego zasięgu. **(B2)** W warunkach przemysłowych weryfikacja teoretycznego spadku siły sygnału i porównanie z wynikami badawczymi. Badania będą realizowane z wykorzystaniem pojedynczych pakietów o rozmiarze 1 bajta, dla dwóch wartości mocy transmisji – maksymalnej (+10 dBm) i minimalnej (-30 dBm) oraz dla dwóch wartości szybkości transmisji łącza szeregowego (2400 bit/s oraz 38400 bit/s). **(B3)** Charakterystyka siły sygnału RSSI w zależności od położenia odbiornika w przestrzeni wokół obrabiarki (wykres w kartezjańskim układzie XYZ). Określenie przybliżonych stref występowania słabej propagacji sygnału radiowego. Wysyłanie pakietu kontrolnego o rozmiarze 1 bajta z szybkością 2400 bit/s. Dla dwóch wartości mocy transmisji – maksymalnej (+10 dBm) i minimalnej (-30 dBm). **(B4)** Realna przepustowość w funkcji siły sygnału RSSI – w warunkach warsztatowych. Wysyłany pakiet będzie rozmiaru 1 bajta. Takich pakietów jest np. 10.000. Sprawdzamy całkowity czas transmisji w zależności od siły RSSI. Dla dwóch wartości mocy transmisji – maksymalnej (+10 dBm) i minimalnej (-30 dBm). Dla dwóch wartości szybkości transmisji łącza szeregowego (2400 bit/s oraz 38400 bit/s). **(B5)** Przepustowość połączenia w zależności od rozmiaru podstawowego pakietu dla ustalonego położenia pary nadajnik/odbiornik i znanej siły sygnału RSSI. Rozmiar pakietu od 1 bajta do 64 bajtów. Wykres zależności przepustowości (kbit/s) od rozmiaru pakietu. Przeprowadzenie dla dwóch wartości mocy transmisji – maksymalnej (+10 dBm) i minimalnej (-30 dBm) oraz dla dwóch wartości szybkości transmisji łącza szeregowego (2400 bit/s oraz 38400 bit/s). **(B6)** Dla korzystnych i niekorzystnych warunków propagacji sygnału w środowisku przemysłowym wykonanie testu transmisji polegającego na przetwarzaniu sygnału sinusoidalnie zmiennego przez przetwornik wbudowany w strukturę nadajnika i obserwację otrzymanego wykresu. Dla dwóch wartości mocy transmisji – maksymalnej (+10 dBm) i minimalnej (-30 dBm). Dla dwóch wartości szybkości transmisji łącza szeregowego (2400 bit/s oraz 38400 bit/s).

## 5. SPRZĘT

Samodzielnie opracowana do badań aparatura składa się z dwóch kompletów nadajnik – odbiornik. Jeden komplet przystosowany jest do pracy w paśmie 433MHz, drugi w paśmie 868MHz. Schematy ideowe nadajnika i odbiornika są zaprezentowane na rysunku 3. Mikrokontroler ATmega32 (klasy AVR) o mocy obliczeniowej 16 MIPS jest odpowiedzialny za generowanie danych do przesłania (program użytkowy). Może być także wykorzystany do konwersji sygnałów analogowych na postać cyfrową za pomocą wbudowanych przetworników A/C o rozdzielczości 10 bitów i częstotliwości przetwarzania max. 4000 Hz. Mikrokontroler STM32 przechowuje oprogramowanie odpowiedzialne za sterowanie układem radiowym CC1100 (ustawianie wszystkich potrzebnych rejestrów).



Rys.3. Schemat ideowy budowy nadajnika toru transmisyjnego (po lewej) oraz schemat ideowy budowy odbiornika toru transmisyjnego (po prawej)

## 6. OPROGRAMOWANIE

Oprogramowanie bazowe (firmware) dla mikrokontrolerów STM32 jest napisane w języku C. Program symulujący działanie czujnika pomiarowego, uruchamiany na mikrokontrolerze ATmega32 został napisany w popularnym języku Bascom. Oprogramowanie do gromadzenia wyników, ich analizy i prezentacji jest napisane w środowisku LabVIEW i uruchomione na komputerze klasy IBM PC.

## 7. PODSUMOWANIE

Przedstawiona w artykule koncepcja systemu komunikacji jest dopiero przyczynkiem do całościowego opracowania tematu. Jak się wydaje pozytywne wyniki mogą zachęcić do przygotowania specjalizowanego modułu akwizycji [11, 12], mogącego stanowić atrakcyjną alternatywę dla tradycyjnych, przewodowych metod transmisji danych. Należy spodziewać się, że rola tego typu komunikacji w przemyśle będzie w najbliższym okresie znacząco wzrastać, dlatego też opracowanie zaleceń, wytycznych, rekomendacji oraz wskazówek dla przyszłych użytkowników lub projektantów uznać należy za pożądane, uzasadnione i konieczne.



## PODZIĘKOWANIA

Projekt współfinansowany przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego oraz Narodowe Centrum Badań i Rozwoju – Nr umowy Innolot/I/10/NCBR/2014 - INNOGEAR

## LITERATURA

- [1] ANDERSSON M.: Wireless Technologies for Industrial Applications, <http://www.digikey.com/us/en/techzone/wireless/resources/articles/wireless-technologies-for-industrial-applications.html>, (2011).
- [2] BUGAJ M., WNUK M., „Modelowanie rozchodzenia się fal elektromagnetycznych w warunkach idealnych i rzeczywistych”, PRZEGLĄD ELEKTROTECHNICZNY, ISSN 0033-2097, R. 90 NR 7/2014, str.152-155.
- [3] ELIASZ D., POWROŹNIK P., “Wykorzystanie bezprzewodowych sieci komputerowych do przesyłania danych pomiarowych”, Pomiary Automatyka Robotyka, 7-8/2006, pp. 6-9.
- [4] HALIM A., RAZIFF A. M., Investigation of Indoor WIFI Radio Signal Propagation, IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications, Penang, Malaysia, 2010, pp. 117-119.
- [5] JASIŃSKI Ł., „Pomiar tłumienia ścian i innych elementów charakterystycznych dla środowiska wewnątrzbudynkowego w paśmie 2,4 GHz”, Wrocław 2011, <http://blog.alvarus.org/wp-content/uploads/2014/04/Lukasz-Jasinski-Pomiar-tlumienia-scian-i-innych-elementow-charakterystycznych-dla-srodowiska-wewnatrzbudynkowego-w-pasmie-2-4GHz.pdf>.
- [6] Recommendation ITU-R P.1238-7(02/2012)- Propagation data and prediction methods for planning of indoor radio communications system”, [http://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-7-201202-I!!PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-7-201202-I!!PDF-E.pdf).
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury nr 1955 z dnia 24 października 2005 r. „W sprawie urządzeń radiowych nadawczych lub nadawczo-odbiorczych, które mogą być używane bez pozwolenia radiowego”, Dziennik Ustaw nr 230.
- [8] SZULEWSKI P., "Metody komunikacji układów diagnostycznych ze sterownikami maszyn technologicznych", Inżynieria Maszyn, R. 17, z. 2, 2012, Strona 74-83, ISSN 1426-708X.
- [9] SZULEWSKI P., "The initial analysis of Ethernet bus for monitoring HSM process in Aerospace Industry", New Production Technologies in Aerospace Industry, IFW Volume 04/2013, Springer Verlag 2013, 978-3-319-01963-5, pp. 163-173.
- [10] SZULEWSKI P., Functional aspects of modern wireless networks in industrial environment, Advances in Manufacturing Science and Technology, volume 37, No 2, 2013, pp. 79-89.
- [11] SZULEWSKI P., „Autonomiczny moduł pomiarowy” – Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Automation, kwiecień 2009, Warszawa PIAP, „Pomiary-Automatyka-Robotyka” PAR 4/2009, ISSN 1427-9126, [http://www.piap.pl/automation/automation\\_2009.php](http://www.piap.pl/automation/automation_2009.php).
- [12] SZULEWSKI P., „Koncepcja autonomicznego modułu pomiarowego do monitorowania procesu i obrabiarki”, Mechanik nr 8-9/2014, str. 613-620
- [13] TAUBER M., BHATTI S. „Low RSSI in WLAN’s, Impact on application-level performance”, Computing, Networking and Communications (ICNC), 2013 International Conference, ISBN 978-1-4673-5287-1, San Diego, [http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs\\_all.jsp?arnumber=6504066](http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=6504066).
- [14] WAGNER B., et all, Location based wireless sensor services in life science automation, Proceedings of the 4th international conference on Real-world wireless sensor networks, (2010), Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, pp. 82-93.
- [15] WILSON R., „Propagation Losses Through Common Building Materials 2.4 GHz vs 5 GHz”, Magis Networks, Inc. August 2002, E10589.