

Zagadnienie wymiany danych w systemie RFID pasma HF z autonomicznym identyfikatorem półpasywnym

Streszczenie. Klasyczny, pasywny identyfikator RFID zawiera w swojej pamięci informacje o znaczonej obiekcie. Z kolei nowoczesny, autonomiczny identyfikator półpasywny może dodatkowo zawierać informacje o otoczeniu obiektu, które pochodzą z wbudowanych czujników różnych wielkości fizycznych. Odczytanie tych informacji wiąże się z wydłużeniem procesu komunikacji, który ma wpływ na podstawowe parametry użytkowe, takie jak obszar poprawnej pracy i zasięg działania systemu RFID. W tym kontekście, w artykule omówiono proces wymiany rozszerzonych danych w systemie RFID pasma HF, pracującym z wykorzystaniem autonomicznego identyfikatora półpasywnego, który jest zgodny z wymaganiami protokołu ISO/IEC 15693. Na podstawie przeprowadzonej analizy problemu i badań potwierdzono zależność pomiędzy rozmiarem przesyłanych danych i zasięgiem działania systemu RFID. Wskazano także kierunki dalszych prac w przedmiotowym zakresie.

Abstract. Classic, passive RFID transponder contains information about the marked object in its memory. The modern, autonomous semi-passive transponder may also contain information about the environment in which the object is localized. That information come from built-in sensors of different physical quantities. Reading of this extended information is associated with prolongation of the communication process. It has an impact on the basic performance parameters, such as the interrogation zone and range of RFID system. In this context, this article discusses the exchange of extended data in the RFID HF band system, working with the use of autonomous semi-passive transponder that is compatible with the ISO/IEC 15693 protocol requirements. On the basis of analysis of the problem and the conducted research the relationship between the size of the transmitted data and the range of RFID system was confirmed. Directions for further work in this area have been also identified. (The issue of data exchange in the HF band RFID system with autonomous semi-passive transponder).

Słowa kluczowe: RFID, identyfikator półpasywny, czytnik/programator, wymiana danych.

Keywords: RFID, semi-passive transponder, read/write device, data exchange.

Wprowadzenie

W wielu zautomatyzowanych procesach, w różnych obszarach życia i gospodarki coraz częściej stosuje się systemy radiowej identyfikacji obiektów RFID (*Radio Frequency IDentification*) [1]. W powszechnie znanych, pasywnych systemach RFID, elektroniczny identyfikator (*transponder*) składa się z anteny i podłączonego do niej chipu, w którego pamięci zawarte są informacje o znaczonej obiekcie [2]. W znanych rozwiązaniach półpasywnych (*semi-passive*), w strukturze tej dodatkowo znajduje się bateria, której główną funkcją jest energetyczne wspomaganie działania chipu. Należy jednak zaznaczyć, że głównym źródłem zasilania pasywnych i półpasywnych identyfikatorów RFID jest energia pola elektromagnetycznego, które jest generowane przez czytnik/programator (RWD – *Read/Write Device*) i jego antenę. Urządzenia te są niezbędne do prowadzenia procesu radiokomunikacji w systemie RFID.

W nielicznych nowo opracowywanych konstrukcjach chipów półpasywnych (z wbudowanym interfejsem przewodowym i bezprzewodowym) [3], energię baterii można wykorzystać do realizacji pomiarów wielkości fizycznych (np. wilgotności, temperatury, natężenia światła, ciśnienia, przyspieszenia, stężenia gazu [4-6]), których wyniki można zapisać w wewnętrznej pamięci identyfikatora. Pomiaru te mogą być wykonywane autonomicznie, czyli bez udziału układu RWD, jednak w określonym czasie powinny zostać bezprzewodowo przesłane do systemu RFID. Te nadmiarowe informacje powodują, że przedmiotowy identyfikator może zawierać dane o znaczonej obiekcie, a także o ich otoczeniu (środowisku w jakim się znajdują). Ta innowacyjna funkcja stanowi kolejny etap cyklu ewolucji systemów RFID. Należy mieć jednak na uwadze, że bezprzewodowa transmisja nadmiarowych danych powoduje wydłużenie czasu ich przesyłania, a to wpływa na zmiany w obszarze poprawnej pracy (IZ – *Interrogation Zone*), który jest podstawowym parametrem użytkowym systemów RFID.

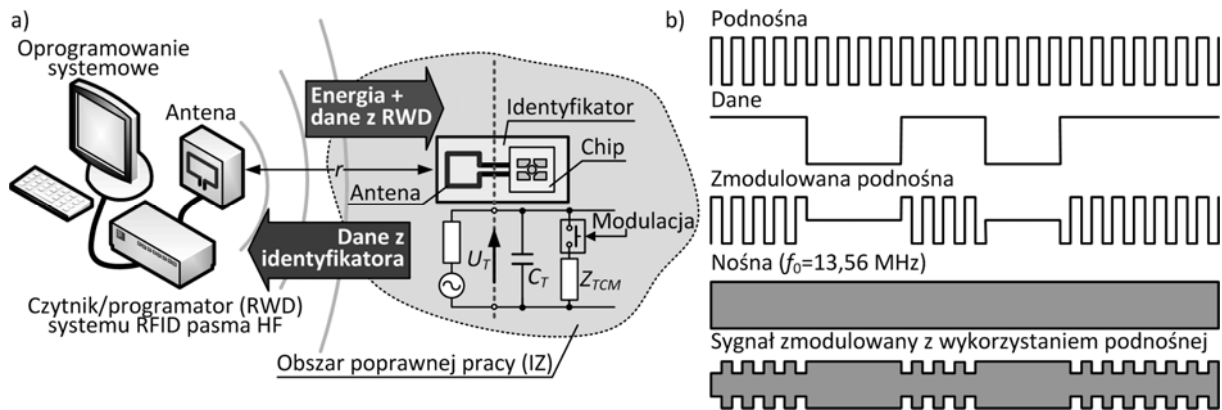
Obszar poprawnej pracy jest definiowany jako przestrzeń, wewnątrz której spełnione są warunki dla prawidłowej transmisji energii i prowadzenia komunikacji radiowej pomiędzy identyfikatorami oraz układem RWD [3].

Ze względu na to, że ta trójwymiarowa przestrzeń jest uwarunkowana wieloma czynnikami (np. orientacją i lokalizacją znaczonej obiektów, ich typem czy sposobem obsługi w zautomatyzowanym procesie), często ogranicza się ją tylko do zasięgu działania systemu RFID (*system range*). Ten parametr jest definiowany jako maksymalna odległość pomiędzy osiowo symetrycznymi antenami identyfikatora i układu RWD, przy której możliwe jest przeprowadzenie zapisu/odczytu danych do/z pamięci chipu. Zasięg systemu ma istotne walory użytkowe, dlatego często koreluje się go z wymaganiami wykorzystywanych protokołów komunikacyjnych [7, 8]. W tym kontekście, w celu określenia możliwości praktycznego wykorzystania nowo opracowywanych, półpasywnych identyfikatorów autonomicznych, konieczne jest rozpoznanie zjawisk, które mają istotny wpływ na ich funkcjonowanie m.in. w systemach RFID pasma HF.

Wymiana danych w systemie RFID pasma HF

Indukcyjnie sprzężone systemy RFID pasma HF funkcjonują z częstotliwością nośnej $f_0 = 13,56$ MHz, a mechanizmy modulacji i kodowania danych są implementowane m.in. w protokołach ISO/IEC 15693, 14443, 18000-3 (rys. 1). W artykule rozważono zagadnienie wymiany danych dla wybranego przykładu protokołu ISO/IEC 15693 [9], dla którego w ramach umowy PBS1/A3/3/2012 opracowywany jest moduł HF wielopasmowego, autonomicznego, półpasywnego identyfikatora RFID [3].

W rozważanym protokole, transmisja danych w kierunku RWD-identyfikator jest realizowana za pomocą modulacji ASK (*Amplitude Shift Keying*) o głębokości 10 lub 100%, przy użyciu jednego z dwóch rodzajów ich kodowania. Dla metody 1 z 256 (512 szczelin o długości 9,44 μ s dla całego bajtu), przepływność danych jest równa $f_0/8192 = 1,65$ kb/s (okres jednego impulsu wynosi $256/f_0 = 18,88$ μ s, a czas zakodowanego bajtu danych $T_{RWD,B} = 18,88$ μ s \cdot 256 = 4,833 ms). Dla kodowania 1 z 4 (realizowanego dla 2 bitów danych) przepływność jest równa $f_0/512 = 26,48$ kb/s (czas jednego symbolu wynosi 75,52 μ s, a czas zakodowanego bajtu $T_{RWD,B} = 75,52$ μ s \cdot 4 = 302,08 μ s). Na tej podstawie można zdefiniować teoretyczny czas trwania bitu dla transmisji danych RWD-identyfikator (tab. 1).



Rys. 1. Wymiana danych w systemie RFID pasma HF: a) schemat procesu, b) modulacja z wykorzystaniem podnośnej

Tabela 1. Teoretyczny czas trwania bitu dla transmisji danych w kierunku RWD-identyfikator

Parametr	Kodowanie 1 z 4	Kodowanie 1 z 256
$T_{RWD, b}$	$T_{RWD, B} / 8 = 37,76 \mu s$	$T_{RWD, B} / 8 = 604,13 \mu s$

Podczas transmisji w kierunku identyfikator-RWD, dane przekazywane są poprzez modulację z wykorzystaniem jednej ($f_1 = f_0/32 = 423,75 \text{ kHz}$, modulacja ASK) lub dwóch podnośnych ($f_1 = f_0/32 = 423,75 \text{ kHz}$ i $f_2 = f_0/28 = 484,28 \text{ kHz}$, modulacja FSK – *Frequency Shift Keying*), przy wykorzystaniu kodowania Manchester. Dla jednej podnośnej, przepływność w trybie *Low* wynosi $f_0/2048 = 6,62 \text{ kb/s}$, a w trybie *High* jest równa $f_0/512 = 26,48 \text{ kb/s}$. Z kolei dla dwóch podnośnych, przepływność w trybie *Low* wynosi $f_0/2032 = 6,67 \text{ kb/s}$, a w trybie *High* jest równa $f_0/508 = 26,69 \text{ kb/s}$. Na tej podstawie także można zdefiniować teoretyczny czas trwania bitu dla transmisji danych w kierunku identyfikator-RWD (tab. 2).

Tabela 2. Teoretyczny czas trwania bitu dla transmisji danych w kierunku identyfikator-RWD

Parametr	Opis	Jedna podnośna	Dwie podnośne
$T_{ID, b}$	Czas trwania bitu w trybie <i>High</i>	37,76 μs	37,46 μs
	Czas trwania bitu w trybie <i>Low</i>	151,03 μs	149,85 μs

Proces komunikacji protokołu [9] jest realizowany na zasadzie zapytania (*request*) z układu RWD i odpowiedzi od identyfikatora (*response*). W kontekście konieczności odczytu zawartości pamięci autonomicznych identyfikatorów półpasywnych, w dalszych rozważaniach wybrano następujące kody rozkazów (*commands*):

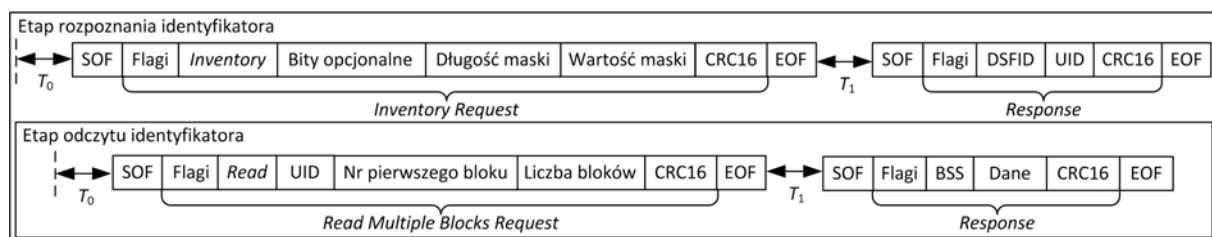
- 0x01 *Inventory* – rozpoczęcie rundy inwentaryzacji;
- 0x23 *Read multiple blocks* – odczyt wielu bloków danych.

Każdy wysyłany z układu RWD rozkaz i odpowiedź od identyfikatora są poprzedzane i kończone odpowiednio symbolem startu SOF (*Start of Frame*) i końca ramki EOF (*End of Frame*). Ich charakterystyczne czasy trwania zestawiono w tabelicy 3.

Tabela 3. Czas pakietów SOF i EOF protokołu ISO/IEC 15693

Symbol	Czas trwania symbolu		
	Kodowanie 1 z 256	Kodowanie 1 z 4	
RWD SOF	$T_{RWD, SOF} = 75,52 \mu s$		
RWD EOF	$T_{RWD, EOF} = 37,76 \mu s$		
Symbol	Przepływność danych	Jedna podnośna	Dwie podnośne
ID SOF	<i>High</i>	$T_{ID, SOF} = 151,04 \mu s$	$T_{ID, SOF} = 149,85 \mu s$
	<i>Low</i>	$T_{ID, SOF} = 604,13 \mu s$	$T_{ID, SOF} = 599,41 \mu s$
ID EOF	<i>High</i>	$T_{ID, EOF} = 151,04 \mu s$	$T_{ID, EOF} = 149,85 \mu s$
	<i>Low</i>	$T_{ID, EOF} = 604,13 \mu s$	$T_{ID, EOF} = 599,41 \mu s$

W sesji wymiany danych rozpatrywanego protokołu (rys. 2), dodatkowo definiowany jest czas potrzebny na zainicjowanie wysłania rozkazu z układu RWD (T_0) i rozpoczęcie odpowiedzi przez identyfikator (T_1). Pierwszy parametr nie jest ściśle określany, natomiast czas T_1 mieści się w przedziale od $4192/f_0$ (309,2 μs) do $4256/f_0$ (313,9 μs). Istotą ich stosowania jest konieczność maksymalizacji ilości energii gromadzonej w pojemności wejściowej chipu C_T (rys. 1a), co ma znaczący wpływ na prawidłowe zasilanie identyfikatora (indukcję minimalnego napięcia U_T na zaciskach antenowych chipu). Te uwarunkowania przede wszystkim determinują obszar poprawnej pracy systemu RFID [2, 3].



Rys. 2. Sesja rozpoznania identyfikatora i odczytu danych z jego pamięci

Sesję w trybie adresowania pojedynczego identyfikatora (*Addressed Mode*) rozpoczyna zapytanie *Inventory request*, wysyłane z układu RWD. Są w nim zawarte informacje o aktualnych parametrach trwającej sesji, czyli: bajt flag (*flags*), kod rozkazu *Inventory* (0x01), opcjonalny bajt identyfikatora aplikacji AFI (*Application Family Identifier*), bajt długości maski (*mask length*), 0-64 b maski (*mask*) i 2-bajty nadmiarowej korekcji błędów (CRC16). Jeśli identyfikator znajdzie się w obszarze poprawnej pracy systemu RFID (rys. 1a), to zostanie od niego wysłany unikalny numer UID (*Unique Identifier*), który będzie poprzedzony bajtem flag i identyfikatorem formatu pamięci danych DSFID (*Data Storage Format Identifier*), a także zakończony kodem CRC16.

Podczas odczytu danych z pamięci identyfikatora (sesja *Read Multiple Blocks Request*), z układu RWD wysyłane są: bajt flag, kod rozkazu (0x23), numer UID, dwa bajty z adresem początkowego bloku i ich liczbą, a także CRC16. W odpowiedzi identyfikator przesyła: bloki danych, które są poprzedzone bajtami flag i statusu zabezpieczeń (BSS – *Block Security Status*), a także zakończone kodem CRC16. W ramce odpowiedzi najdłuższym polem jest ciąg danych odczytywanych z pamięci chipu identyfikatora.

Tabela 4. Zależności czasowe dla etapu rozpoznania identyfikatora

	Składowe	Bity	Czas
Rozpoznanie identyfikatora	RWD SOF	-	T_{RWD_SOF}
	<i>Inventory request</i>	48	T_{RWD_b}
	RWD EOF	-	T_{RWD_EOF}
	Odpowiedź na <i>Inventory request</i>	96	$T_{ID_SOF} + 96 \cdot T_{ID_b} + T_{ID_EOF}$
Suma (uwzględnia czas pomiędzy zapytaniami RWD i odpowiedziami identyfikatora)	-	-	$T_{RWD_SOF} + 48 \cdot T_{RWD_b} + T_{RWD_EOF} + T_{ID_SOF} + 96 \cdot T_{ID_b} + T_{ID_EOF} + T_1 + T_2$

Na podstawie powyższej specyfikacji możliwe jest sformułowanie zależności, z wykorzystaniem których może zostać wyznaczona długość kompletnej sesji rozpoznania identyfikatora, przy założeniu zerowej długości jego maski (tab. 4). W podobny sposób można wyznaczyć czas odczytu danych z pamięci (tab. 5).

Tabela 5. Zależności czasowe dla etapu odczytu identyfikatora

	Składowe	Bity	Czas
Odczyt identyfikatora	RWD SOF	-	T_{RWD_SOF}
	<i>Read Multiple Blocks Request</i>	112	$48 \cdot T_{RWD_b}$
	RWD EOF	-	T_{RWD_EOF}
	Odpowiedź na <i>Read Multiple Blocks Request</i>	$32 + 8 \cdot N \cdot M$	$T_{ID_SOF} + 32 \cdot T_{ID_b} + T_{ID_EOF} + 8 \cdot N \cdot M \cdot T_{ID_b}$
Suma (uwzględnia czas pomiędzy zapytaniami RWD i odpowiedziami identyfikatora)	-	-	$T_{RWD_SOF} + 48 \cdot T_{RWD_b} + T_{RWD_EOF} + T_{ID_SOF} + 32 \cdot T_{ID_b} + T_{ID_EOF} + 8 \cdot N \cdot M \cdot T_{ID_b} + T_1 + T_2$

Można zauważyć, że wartość czasu odczytu danych z pamięci identyfikatora w największym stopniu zależy od liczby bloków N i ich wielkości M wyrażonej w bajtach.

Eksperyment

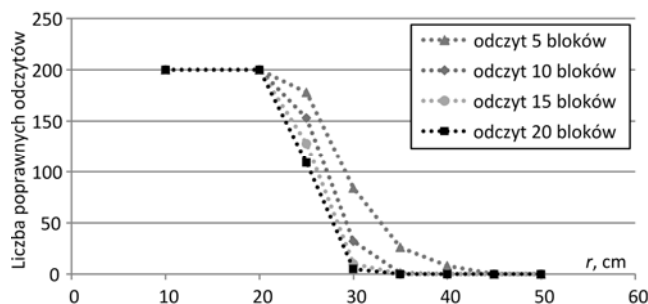
Podczas zaplanowanego eksperymentu przeprowadzono próby odczytu informacji z pamięci pojedynczego identyfikatora półpasywnego [3], który został opracowany w Zakładzie Systemów Elektronicznych i Telekomunikacyjnych Politechniki Rzeszowskiej z wykorzystaniem chipu STMicroelectronics M24LR16E-R. Proces ten przeprowadzono przy użyciu układu RWD FEIG ID ISC.MR101 oraz oprogramowania ID ISOSTart 2014 w

wersji 09.08.02. Na podstawie zależności z tabeli 4 i 5 dokonano oszacowania czasu odczytu danych z identyfikatora dla różnej liczby N 4-bajtowych bloków pamięci (tab. 6).

Tabela 6. Obliczony czas odczytu danych z pamięci identyfikatora

Czas odczytu danych z pamięci identyfikatora (razem z inwentaryzacją)			
$N = 5$	$N = 10$	$N = 15$	$N = 20$
20,4 ms	26,4 ms	32,5 ms	38,5 ms

Ilość odczytywanych danych wpływa na liczbę przełączeń klucza układu modulatora (dołączanie impedancji Z_{TCM}), a tym samym na zużycie energii przechowywanej w pojemności wejściowej chipu C_T (rys. 1). Częstsze kluczowanie tego układu, spowodowane wydłużeniem czasu sesji komunikacyjnej (tab. 6), powinno spowodować zmniejszenie zasięgu działania systemu RFID. Dla potwierdzenia takiej zależności przeprowadzono badania, w których dokonywano odczytu różnej ilości danych z pamięci chipu przy zmieniającej się odległości r pomiędzy antenami identyfikatora i układu RWD (rys. 3). Dane z układu RWD były przesyłane z wykorzystaniem kodowania 1 z 4. Z kolei informacje zwrotne od identyfikatora były przesyłane do układu czynnika/programatora z przepływnością w trybie *High* za pomocą jednej podnośnej. Podczas eksperymentu zmieniano liczbę bloków w zakresie od 5 do 20 i powtarzano ich odczyt 200 razy.



Rys. 3. Wyniki badań eksperymentalnych

Na podstawie przeprowadzonych badań potwierdzono istnienie założonej zależności, w której rozmiar przesyłanych danych wpływa zarówno na energetyczne jak i komunikacyjne uwarunkowania pracy systemu RFID pasma HF. Dla oszczędności energii w przypadku transmisji dużej ilości danych z pamięci autonomicznego, półpasywnego identyfikatora RFID, celowe byłoby ich odczytywanie w mniejszych partiach co pewien czas. Prowadzi to jednak do znacznego wydłużenia całego procesu komunikacji, a to negatywnie wpływa na identyfikację obiektów w warunkach dynamicznych zmian ich lokalizacji i orientacji [10]. Stąd wniosek, że odczyt zawartości pamięci powinien następować jak najszybciej. W związku z tym konieczne są dalsze prace nad modelem, w którym możliwe będzie uwzględnienie zależności wynikających z odczytu bloków danych w procedurze wyznaczania obszaru poprawnej pracy systemu RFID. Celowe jest także prowadzenie rozważań dotyczących możliwych zmian protokołu komunikacyjnego w kontekście budżetu energetycznego identyfikatora. Należy jednak zaznaczyć, że ilościowa ocena tego zjawiska może zostać uwzględniona na etapie korelacji wykorzystywanego protokołu komunikacyjnego, a także lokalizacji i orientacji identyfikatora w polu elektromagnetycznym anteny układu RWD.

Podsumowanie

W celu wykorzystania nowo opracowywanych, innowacyjnych konstrukcji autonomicznych identyfikatorów półpasywnych, wymagane jest stosowanie dodatkowych mechanizmów umożliwiających efektywne przesyłanie danych z ich pamięci. Wynika to z faktu, że identyfikatory te można wykorzystać do realizacji dodatkowych funkcji użytkowych. Klasyczne konstrukcje pasywne zawierają tylko informacje o znaczonych obiektach. Z kolei nowoczesne identyfikatory półpasywne mogą zawierać informacje o obiektach i ich otoczeniu (pochodzące z czujników różnych wielkości fizycznych), a ich autonomiczna (nawet bezbateryjna) praca może być zapewniona dzięki energii odzyskiwanej np. z pola elektromagnetycznego systemów radiokomunikacyjnych powszechnego użytku (badania w ramach projektu nr PBS1/A3/3/2012). W kontekście wymiany danych w systemie, proces bezprzewodowej komunikacji z tymi urządzeniami jest znacznie dłuższy niż w przypadku klasycznych identyfikatorów pasywnych. Zagadnienie przedstawione w niniejszym opracowaniu dotyczy tylko jednego identyfikatora. Należy jednak mieć na uwadze, że niejednokrotnie konieczne jest uwzględnienie obecności wielu elektronicznie oznaczonych obiektów. Istnieje również potrzeba opracowania nowych, lub udoskonalenia istniejących modeli systemów rozpoznawania obiektów ruchomych, w których czas identyfikacji jest parametrem krytycznym ich poprawnego funkcjonowania. W tym kontekście autorzy prowadzą prace nad syntezą numerycznego modelu, za pomocą którego możliwe będzie wyznaczenie obszaru poprawnej pracy dla autonomicznych identyfikatorów półpasywnych.

Część prac zrealizowano w ramach projektu nr PBS1/A3/3/2012 finansowanego przez NCBR w ramach I PBS. W pracach badawczych wykorzystano aparaturę zakupioną z projektów EU nr: a) POPW.01.03.00-18-012/09, b) UDA-RPPK.01.03.00-18-003/10-00.

LITERATURA

- [1]Ustundag A. (Ed.), *The Value of RFID. Benefits vs. Costs*, Springer-Verlag, London, 2013
- [2]Finkenzerler K., *RFID Handbook*, 3rd Ed., Wiley, 2010
- [3]Jankowski-Mihułowicz P., Kalita W., Skoczylas M., Węglarski M., *Modelling and Design of HF RFID Passive Transponders with Additional Energy Harvester*, *International Journal of Antennas and Propagation*, art. 242840, 2013
- [4]Abad E., Mazzolai B., Juarros A., Gómez D., Mondini A., Sayhan I., Krenkow A., Becker Th., *Fabrication process for a flexible tag microlab*, *Proc. SPIE* 6589, 658900, 2007
- [5]Oprea A., Courbat J., Bârsan N., Briand D., de Rooij N.F., Weimar U., *Temperature, humidity and gas sensors integrated on plastic foil for low power applications*, *Sens. Actuators B: Chem.*, vol. 140, no. 1, 227-232, 2009
- [6]Tani A., Ugaji M., Yamabe Y., *A building structural-performance monitoring system using RFID tag with sensors*, *Int. Conf. Comput. in Civil and Build. Eng.*, 30 June-2 July, Nottingham, UK, paper 221, 2010
- [7]Solic P., Bozic-Kudric M., Russo M., Rozic N., *Extending the reading region of the RFID UHF Gen2 system by HF/UHF integration*, *12th ConTEL*, 26-28 June, 257-262, Zagreb, Croatia, 2013
- [8]Kneerr B., Holzer M., Angerer C., Rupp M., *Slot-wise maximum likelihood estimation of the tag population size in FSA protocols*, *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 2, 578-585, 2010
- [9]ISO/IEC 15693, *Identification cards - Contactless integrated circuit cards - Vicinity cards*
- [10] Jankowski-Mihułowicz P., Kalita W., Pawłowicz B., *Problem of dynamic change of tags location in anticollision RFID systems*, *Microelectronics Reliability*, vol. 48, no. 6, 911-918, 2008

Autorzy: dr inż. Piotr Jankowski-Mihułowicz, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, E-mail: pjanko@prz.edu.pl; dr inż. Bartosz Pawłowicz, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów; mgr inż. Grzegorz Piłera, Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, E-mail: gp@prz.edu.pl.