

# Praktyczny aspekt określenia zasięgu pomiędzy bezprzewodowymi urządzeniami w systemach zarządzania budynkiem

**Streszczenie.** W systemach zarządzania budynkiem (BMS) niezawodnym elementem projektowania jest zastosowanie niezawodnej formy komunikacji. Oprócz formy przewodowej dopuszczalne są również rozwiązania bezprzewodowe. Różnorodność wyboru opracowanych bezprzewodowych standardów zapewnia projektantom BMS różne alternatywy rozwiązań programowo - sprzętowych. W artykule dla opracowanego niekomercyjnego BMS przedstawiono wyniki badań, których celem było określenie ograniczeń jakie mogą wystąpić podczas komunikacji.

**Abstract.** In building management systems (BMS) reliable forms of communication is an important design element. In addition to the wired form, wireless solutions are also acceptable. A large number of developed wireless standards ensure BMS designers different choices of software and hardware solutions. In the article for the developed non-commercial BMS, the results of the research were presented. The purpose of the research was to determine the limitations that may occur during wireless communication. (The practical aspect of estimating the range between wireless devices in building management systems).

**Słowa kluczowe:** inteligentny dom, komunikacja bezprzewodowa, system zarządzania budynkiem, szacowanie zasięgu bezprzewodowych urządzeń.

**Keywords:** smart home, wireless communication, building management system, estimating the range of wireless devices.

## Wstęp

Koncepcja Inteligentnego Domu (ang. Smart House - SH) [1] polega w głównej mierze na automatyzacji procesów na podstawie pozyskanej informacji. Uzyskane dane wraz z częścią sprzętową tworzą zintegrowany system sterowania (ZSS) [2]. System taki może mieć strukturę scentralizowaną lub rozproszoną [2]. Bez względu na strukturę ważna jest niezawodność, wydajność i aspekt ekonomiczny takiego rozwiązania [2].

Potrzeba wprowadzania automatyzacji w ZSS wynika również z rosnących wymagań jakie stawiane są przez użytkowników. Wymagane jest między innymi wprowadzenie możliwości oddziaływania na wybrane systemy, do których użytkownik ma dostęp. Interfejs pomiędzy ZSS, a użytkownikiem musi być na tyle intuicyjny, aby nie przytłaczał swoją złożonością. Wprowadzenie intuicyjności zwiększa wymagania wobec zastosowanego oprogramowania i algorytmów ZSS [3]. W przypadku SH, oprogramowanie i algorytmy ZSS tworzą system zarządzania budynkiem (ang. Building Management System - BMS). W skład BMS wchodzi system [2]:

- sterowania bezpieczeństwa;
- sterowania funkcjami technicznymi, który złożony jest z podsystemu: zasilania i zarządzania energią oraz komfortem;
- teleinformatyczny.

Podsystem zasilania i zarządzania energią oraz komfortem ma niewątpliwie wpływ na wcześniej wspomniany aspekt ekonomiczny. Zapewnienie komfortu np. termicznego przebywających w SH ludzi nie zawsze musi wiązać się jednocześnie z dużym nakładem zużytej energii. Zadaniem BMS dla SH powinno być racjonalne wydanie poleceń do systemu nawiewu, klimatyzacji i ogrzewania. W przypadku budynków, zarządzanie energią w ekonomicznym aspekcie, może również dotyczyć kwestii związanych z odnawialnymi źródłami energii (OZE). W takim ujęciu wymagane od BMS jest wprowadzenie algorytmów, które oprócz OZE uwzględniałyby magazyny energii. Prace nad elastycznym modelem zarządzania energią (EMZE), który mógłby mieć zastosowanie w BMS przedstawiono w [4, 5 6]. W przedstawionych wynikach prac można również zaobserwować, oprócz możliwości zarządzania OZE i magazynami, również możliwość

sterowania odbiornikami. Takie ujęcie zarządzania odbiornikami daje możliwość wyłączenia lub redukcji mocy odbiornikom, które w danym momencie nie są krytyczne z punktu widzenia prawidłowego funkcjonowania BMS.

Do prawidłowego funkcjonowania każdego z systemów BMS wymagane jest zastosowanie niezawodnej formy komunikacji przewodowej lub bezprzewodowej. Za pomocą mediów komunikacyjnych przesyłane są dane pomiarowo - sterujące z poszczególnych urządzeń BMS. Taka funkcjonalność wpisuje się najczęściej w zamysł Internetu Rzeczy (ang. Internet of Things - IoT) [1, 7, 8]. Zamysł IoT opiera się o przedmioty/urządzenia, głównie elektroniczne, podłączone do sieci [7, 8]. W IoT ważnym jest to, aby zachować łączność oraz możliwość przekazywania danych za pomocą standardowych lub dedykowanych protokołów komunikacyjnych. Takie urządzenia mogą być połączone bezpośrednio, bądź też przy pomocy innych urządzeń mogących przetwarzać, zbierać oraz przekazywać dane.

Na rynku dostępne są komercyjne wersje BMS [9, 10]. W swoich produktach firmy komercyjne stosują różne protokoły komunikacyjne i różne sposoby przesyłania danych. Wśród rozwiązań bezprzewodowych komunikacja oparta może być o jeden z bezprzewodowych protokołów: Z-Wave [10], Bluetooth lub Wi-Fi [11]. Producenci opracowują dedykowane interfejsy, umożliwiające dostęp do BMS przy pomocy wyzwalaczy (pilotów, przycisków) oraz za pomocą telefonu, dzięki aplikacji mobilnej. Aplikacja w zależności od skonfigurowania systemu pozwala zarządzać stanem pracy urządzeń lub informować o zdarzeniu wykrytym przez czujnik. W zależności od urządzenia dostępne funkcje zarządzające różnią się. Można jednak wyróżnić wspólne cechy urządzeń. Większość urządzeń posiada funkcję włącz oraz wyłącz. Na podstawie dostarczonych danych z zewnątrz, zarówno od innych urządzeń jak i czujników, urządzenie może również samoczynnie generować zdarzenie. Przykładem może być załączenie oświetlenia na podstawie wykrytego ruchu.

Zasadniczą wadą rozwiązań komercyjnych BMS jest to, że stanowią najczęściej system zamknięty. Wszelkie próby skalowalności o produkty innych firm stanowi duże wyzwanie. Problemem jest najczęściej dopasowanie do zastosowanego przez producenta protokołu komunikacyjnego.

W dalszej części artykułu przedstawione zostaną wyniki badań symulacyjnych oraz rezultaty z praktycznej realizacji opracowanego własnego uproszczonego BMS. Przedstawione wyniki stanowią rozszerzenie badań, które zaprezentowano w [12].

### Wyniki badań symulacyjnych

Motywacją przeprowadzenia badań zaprezentowanych w artykule było określenie ograniczeń jakie mogą wystąpić podczas realizacji własnego BMS. W szczególności analizom poddano aspekt niezawodności podczas bezprzewodowej komunikacji pomiędzy poszczególnymi urządzeniami w BMS.

Rozważania teoretyczne oparto o wzór umożliwiający oszacowanie zasięgu pomiędzy dwoma bezprzewodowymi urządzeniami BMS [13]:

$$(1) \quad R = 10^{\left(\frac{P_0 - F_m - P_r - 10 \cdot n \cdot \log_{10}(f) + 30 \cdot n - 32,44}{10 \cdot n}\right)}$$

gdzie:  $P_0$  – moc sygnału przy antenie [dBm],  $P_r$  – czułość odbiornika [dBm],  $n$  – wykładnik stratności ścieżki dla wybranego środowiska,  $F_m$  – efekt zanikania [dB],  $f$  – częstotliwość [MHz].

W dalszej części artykułu wartości  $P_0$  i  $P_r$  będą ustalone dla układu komunikacyjnego NRFL01 [14]. We własnym projekcie BMS, układ ten użyto ze względu na dwukierunkowy tryb pracy, możliwość pracy z dużą liczbą urządzeń oraz możliwość zastosowania różnych kanałów komunikacyjnych przy użyciu jednego urządzenia. Na podstawie dokumentacji dla NRFL01 [14] określono możliwe do wyboru zakresy wartości parametrów  $P_0$  i  $P_r$  oraz natężenie prądu  $I$  przy wybranej konfiguracji (Tabela 1).

W przypadku parametru  $P_0$  przedstawiony zakres mocy sygnału przy antenie wynika z możliwości konfiguracyjnych zastosowanego w NRFL01 wzmacniacza mocy (ang. power amplifier - PA). Poprzez wybór zadanej przepustowości określana jest natomiast czułość odbiornika  $P_r$ . Konfigurowany jest w ten sposób wzmacniacz o niskim poziomie szumów (ang. low noise amplifier - LNA).

W czasie prowadzonych analiz dla  $n$  przyjęto jedną z dwóch skrajnych wyznaczonych eksperymentalnie wartości [13]. Wartości dla  $n$  wraz z opisem przedstawiono w tabeli 2 [13].

Tabela 1. Zakresy wartości możliwych do przyjęcia dla  $P_0$  i  $P_r$  wraz z odpowiadającym natężeniem prądu  $I$  przez NRFL01

Parametr	Wartości możliwe do wyboru dla wybranego parametru [dBm]	$I$ [mA]
$P_0$	0	11,3
	-6	9
	-12	7,5
	-18	7
$P_r$	-82 dla 2 Mb/s	13,5
	-85 dla 1 Mb/s	13,1
	-94 dla 250 kb/s	12,6

Tabela 2. Wybrane wartości dla  $n$  wraz z opisem

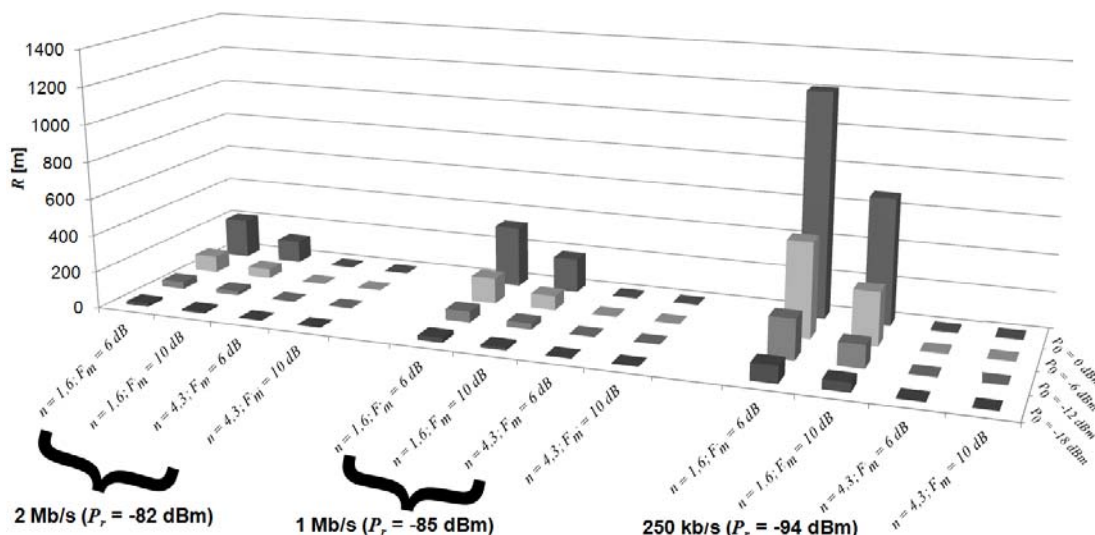
$n$	Opis środowiska, w którym wyznaczono wartość $n$
1,6	wewnątrz budynku, z bezpośrednią widocznością urządzeń nadawczego i odbiorczego
4,3	wewnątrz budynku, bez bezpośredniej widoczności urządzeń

Dla wartości  $n$  przedstawionych w tabeli 2 można stwierdzić, że im jest więcej przeszkód i trudniejsze warunki podczas komunikacji bezprzewodowej, tym uzyskiwana jest wyższa wartość liczbową tego parametru.

We wzorze 1 uwzględniane są również zakłócenia sygnału spowodowane występowaniem różnych ścieżek. Definiowany jest tym sposobem margines zanikania (ang. fade margin -  $F_m$ ). Według [13] typowy zakres wartości  $F_m$  wynosi od 6 dB do 10 dB.

Ze względu na pracę NRFL01 dla częstotliwości 2450 MHz, przyjęto właśnie taką wartości dla parametru  $f$ .

Na rysunku 1 przedstawiono rezultaty przeprowadzonych analiz dla przyjętych wartości poszczególnych parametrów:  $P_0$ ,  $P_r$ ,  $n$ ,  $F_m$  i  $f$ .



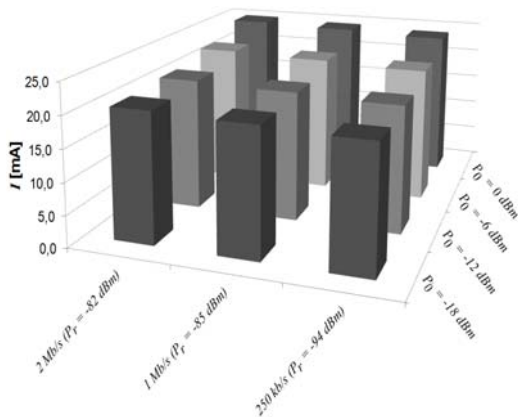
Rys. 1. Ocena wpływu parametrów sieci bezprzewodowych na  $R$

Na podstawie zaprezentowanych wyników badań (Rys. 1.) można stwierdzić, że największy zasięg  $R$  uzyskiwany jest w przypadku, gdy wartość  $P_0$  ma jak największą wartość, a  $n$  i  $F_m$  jak najmniejszą. Oznacza to, że w warunkach praktycznej realizacji BMS należy zwiększać moc dla nadawanego sygnału do momentu, aż zostanie wyeliminowany wpływ niekorzystnych czynników.

Zmniejszenie przepustowości ( $P_r = -94$  dBm) ma również wpływ na zwiększenie  $R$ . W przypadku NRFL01, LNA funkcjonuje z większą sprawnością dla niższych przepustowości.

Urządzenia wchodzące w skład BMS z komunikacją bezprzewodową stanowią najczęściej system wbudowany z zasilaniem bateryjnym. W takim ujęciu sprzętowym należy

uwzględnić również wartość natężenia  $I$ , dla różnych konfiguracji wartości parametrów  $P_0$  i  $P_r$ . Uwzględniając dane z tabeli 1, na rysunku 2 przedstawiono szacowane wartości  $I$  dla parametrów  $P_0$  i  $P_r$ .



Rys.2. Zestawienie zużycie  $I$  dla wybranych nastaw  $P_0$  i  $P_r$

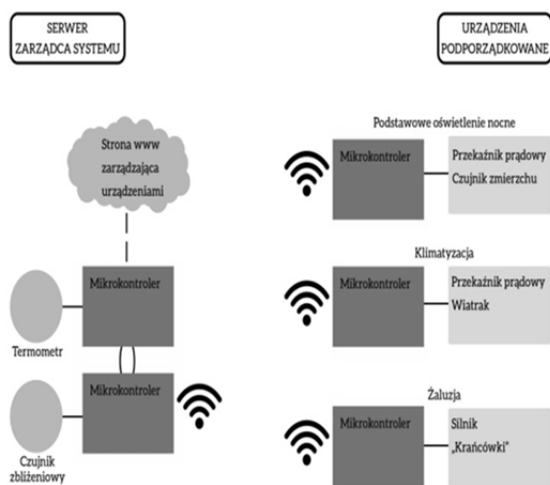
Ze względu, na pomijalne zdaniem Autorów różnice wartości  $I$  na długość pracy urządzeń, postanowiono przyjąć, że w praktycznej weryfikacji wartość  $P_0 = 0$  dBm. W takim przypadku wartość rejestru konfiguracyjnego NRFL01 dla PA wynosi: RF\_PWR = 11 [14].

Dla parametru  $P_r$  postanowiono nie zawężać zakresu badań. Analizie zostaną poddane wszystkie trzy możliwe do ustawienia przepustowości:

- 250 kb/s ( $P_r = -94$  dBm);
- 1 Mb/s ( $P_r = -85$  dBm);
- 2 Mb/s ( $P_r = -82$  dBm).

### Infrastruktura opracowanego systemu

W infrastrukturze opracowanego BMS zastosowano zamysł IoT i idei SH. Na potrzeby realizacji wybranych funkcjonalności SH konieczne było zdefiniowanie poszczególnych komponentów. Jako komponent rozumiany będzie np. system oświetlenia. Każdy z komponentów oparty jest o system pomiarowo – sterujący (SPS). Dodatkowo na potrzeby komunikacji poszczególnych komponentów opracowano wewnętrzny protokołu komunikacyjny. Przepływ danych pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu oparto o bezprzewodową komunikację w standardzie Bluetooth wykorzystującą pasmo 2,4 GHz.



Rys.3. Infrastruktura opracowanego systemu

W omawiany systemie zastosowano model klient – serwer. Rozwiązanie takie ma na celu gromadzenie oraz przechowywanie wszystkich informacji dotyczących działań systemu w jednym miejscu, czyli na urządzeniu zarządzającym systemem. Podczas prac zwrócono szczególną uwagę na możliwość przepływu danych z systemu do zewnętrznego serwera przetwarzającego dane. Na rysunku 3 przedstawiono graficzną reprezentację zaimplementowanego systemu.

Na podstawie rysunku 3 można zauważyć, że zarządcę systemu (serwer) stanowi grupa urządzeń składająca się z dwóch mikrokontrolerów, połączonych węzłem komunikacyjnym. Rozwiązanie takie zapewnia odpowiednią wydajność sprzętowa dla złożoności i architektury opracowanego systemu. Zastosowanie takiego podejścia daje możliwość rozłożenia zadań między urządzeniami wchodzącymi w skład danego komponentu. W przypadku awarii któregoś z komponentów, pozostałe mogłyby nadal niezależnie pracować.

Urządzenia tworzące grupę urządzeń zarządzających przekazują między sobą dane przy pomocy magistrali komunikacyjnej I<sup>2</sup>C. Omawiana dwukierunkowa magistrala zapewnia pełną synchronizację danych (tj. np. temperatura w pomieszczeniu czy informacja dotycząca obecności użytkownika).

W skład grupy urządzeń podporządkowanych (klient) wchodzi:

- komponent związany ze sterowaniem podstawowym oświetleniem nocnym;
- komponent odpowiedzialny za klimatyzację;
- komponent dotyczący żaluzji okiennych.

Opracowany BMS może pracować w trybie automatycznym, bądź ręcznym. Dostęp do trybu ręcznego jest uzyskiwany przez użytkownika z dowolnego urządzenia podłączonego do sieci Internet, posiadającego narzędzie do odtwarzania treści stron internetowych stworzonych w języku HTML.

Część sprzętową poszczególnych komponentów w głównej mierze oparto o następujące rozwiązania:

- mikrokontroler Arduino Uno R3 [15, 16] – wybrano i zastosowano płytkę SBC Arduino UNO R3. Płytkę posiada mikrokontroler AVR ATmega328, 32kB pamięci Flash, 2 kB pamięci operacyjnej RAM oraz układ wejścia – wyjścia. Sześć wejść analogowych oraz czternaście wejść cyfrowych. Układ pracuje z częstotliwością taktowania 16 MHz. Urządzenie obsługuje interfejsy komunikacyjne takie jak: I<sup>2</sup>C, SPI oraz UART;
- NRFL01 [14] dwukierunkowy układ komunikacyjny;
- Ethernet Shield W5100 – dedykowany dodatek w postaci karty sieciowej do płytki SBC. Urządzenie jest rozszerzeniem płytki Arduino UNO R3, zapewniającym połączenie z siecią Ethernet poprzez magistralę SPI;
- termometr, RFID, sterownik silnika oraz silnik, zbliżeniowe czujniki magnetyczne, przekaźniki prądowe oraz inne urządzenia zapewniające pełną funkcjonalność systemu.

Część SPS w prezentowanym rozwiązaniu BMS stanowi system sterowania oświetleniem w domu. Na podstawie danych z sensorów następuje wykrycie obecności użytkownika przez sterownik. Sterownik po dokonaniu przetworzenia danych pomiarowych wydaje rozkaz do kolejnych urządzeń, aby nimi odpowiednio posterować. Następnym włączenia oświetlenia (obecności użytkownika) może być wykonanie kolejnego zdarzenia.

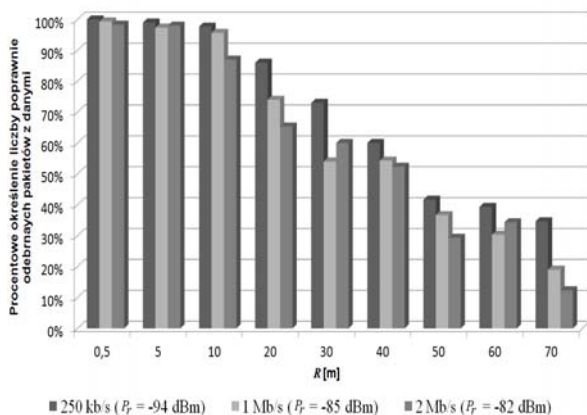
System, na podstawie przetworzonych danych z sensorów, będzie mógł zarządzać oświetleniem zgodnie z danymi historycznymi. Dodatkowo omawiane dane

pomiarowe mogą zostać udostępnione, tak aby użytkownik, bądź osoby zewnętrzne mogły je analizować i wykorzystywać w innych systemach (np. ThingSpeak [17]). Takie rozwiązanie idealnie wpisuje się do idei IoT [7, 8].

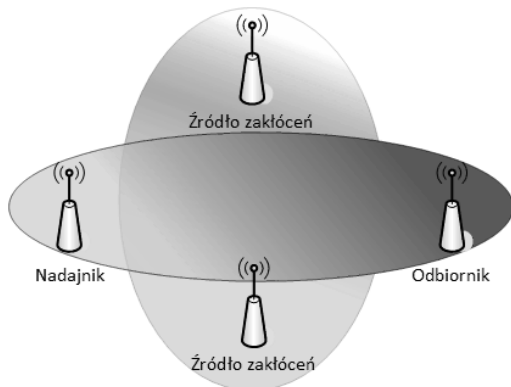
### Wyniki badań wpływu odległości na poprawność odbioru danych

Ze względu na zastosowaną w opracowywanym systemie formę bezprzewodowej komunikacji zdecydowano się przeprowadzić dodatkowe badania. Celem tych badań było potwierdzenie wyznaczonych za pomocą wzoru 1 wartości teoretycznych dla parametru  $R$  (Rys. 1.). Na potrzeby tych badań opracowano stanowisko pomiarowe, które składało się z zestawu połączonych bezprzewodowo urządzeń: nadawczego i odbiorczego. Każde z urządzeń zrealizowano na podstawie Arduino Uno R3 z układem komunikacyjnym NRF101 [14]. Stanowisko zlokalizowane było na otwartej przestrzeni, na wysokości 40 cm nad ziemią. Pomiędzy urządzeniem nadawczym, a odbiorczym nie znajdowała się żadna przeszkoda, która mogłaby wpłynąć na siłę sygnału. Część odbiorcza stanowiska dołączona była za pomocą uniwersalnej magistrali szeregowo USB do komputera PC. Takie połączenie umożliwiło odczyt liczby poprawnie odebranych pakietów na monitorze portu szeregowego w oprogramowaniu Arduino IDE.

Procentowe określenie liczby poprawnie odebranych pakietów z danymi wyznaczono na podstawie serii 100 powtórzeń transmisji danych wysyłanych co jedną sekundę. Badania dla różnych  $R$  przeprowadzono dla trzech przepustowości: 250 kb/s ( $P_r = -94$  dBm), 1 Mb/s ( $P_r = -85$  dBm) i 2 Mb/s ( $P_r = -82$  dBm). Uzyskane wyniki przedstawiono na rysunku 4.



Rys.4. Zestawienie wyników badań



Rys.5. Modyfikacja stanowiska pomiarowego uwzględniająca dodatkowe źródło zakłóceń

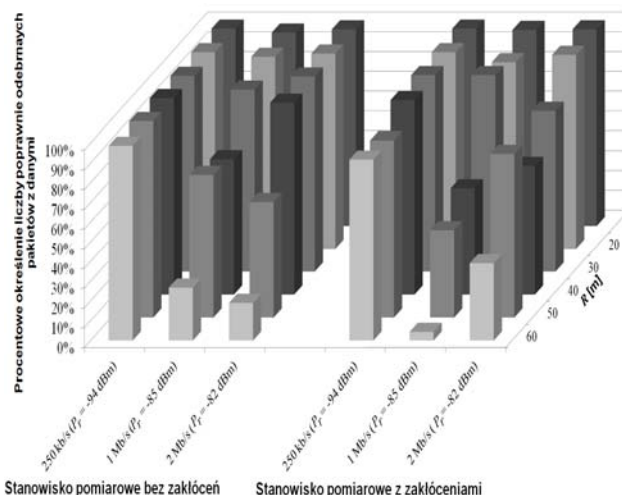
Na podstawie analizy danych (Rys. 4.) można stwierdzić, że do 10 m wpływ przepustowości transmisji na

odległość nie miał większego znaczenia ( $R$ ). Przy większych odległościach można już było zaobserwować większą skuteczność przy przesyłaniu ramek z danymi dla mniejszych przepływności. Drobne odstępstwo od tego stwierdzenia występuje w przypadku odległości 60 m. W tym przypadku na uzyskane wyniki mogły wpłynąć inne dodatkowe czynniki np. zewnętrzne transmisje danych realizowane na częstotliwości 2,4 GHz.

Ze względu na chęć potwierdzenia wpływu zewnętrznych transmisji danych na  $R$  postanowiono do badań wprowadzić własne kontrolowane zakłócenia (Rys.5).

Źródłem dodatkowych własnych zakłóceń były dwa urządzenia, które na czas badań realizowały ciągłą transmisję bezprzewodową na 2,4 GHz.

Zestawienie wyników badań bez i z własnym źródłem zakłóceń przedstawiono na rysunku 6.



Rys.6. Zestawienie wyników badań z i bez własnego źródła zakłóceń

Tak jak poprzednio (Rys. 4.) procentowe określenie liczby poprawnie odebranych pakietów z danymi wyznaczono na podstawie wartości średniej z serii 100 powtórzeń transmisji danych wysyłanych co jedną sekundę. Pomimo powtórzenia badań, nadal można zaobserwować tendencję zmniejszania się liczby poprawnie odebranych danych wraz ze zwiększeniem przepustowości. Zadaniem Autorów wprowadzenie własnego źródła zakłóceń nie miało znaczącego znaczenia na liczbę poprawnie odebranych pakietów z danymi.

### Podsumowanie

Opracowanie własnego systemu zarządzania budynkiem opartego o zamysł IoT i idei Inteligentnego Domu okazało się trudnym zadaniem. Do własnego systemu często nie można było dopasować gotowych komponentów oferowanych przez komercyjne firmy. Problematyczne okazywało się również dopasowanie pod względem programowym ze względu na to, że nie wszyscy producenci podają do publicznej wiadomości odpowiednią dokumentację techniczną.

Opierając się na komunikacji bezprzewodowej ważne jest również, aby dla zastosowanych rozwiązań sprzętowych sprawdzić ograniczenia wynikające z odległości, dla której realizowana jest prawidłowa komunikacja.

Uwzględniając wcześniej przeprowadzone analizy teoretyczne (Rys.1.) z wynikami praktycznej weryfikacji (Rys. 4.) i (Rys. 6.) stwierdzono, że pomimo nawiązania połączenia pomiędzy urządzeniem nadawczym i odbiorczym dla części pakietów nie było możliwości ich



poprawnego odbioru. Ponowna retransmisja błędnie odebranego pakietu może stanowić rozwiązanie takiego problemu. Takie podejście sprawia jednak, że wydłuża się czas uzyskania danych oraz zwiększa się zużycie energii potrzebnej do zrealizowania takiej funkcjonalności.

Zdaniem Autorów projektant BMS, który musi zastosować komunikację bezprzewodową, po oszacowaniu zasięgu ( $R$ ) pomiędzy dwoma bezprzewodowymi urządzeniami musi wsiąść pod uwagę również fakt, że czasowo mogą wystąpić dodatkowe źródła zakłócenia o charakterze aperiodycznym. Odległość pomiędzy urządzeniami BMS powinna w takim razie zostać tak dobrana, aby był zachowany dodatkowy margines uwzględniający zakłócenia.

**Autorzy:** dr inż. Piotr Powroźnik, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki, ul. prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: [p.powroznik@imej.uz.zgora.pl](mailto:p.powroznik@imej.uz.zgora.pl); inż. Damian Kuśmierk, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki, ul. prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: [kusmierk.damian@gmail.com](mailto:kusmierk.damian@gmail.com).

#### LITERATURA

- [1] Riley M.: Inteligentny Dom. Automatyzacja mieszkania za pomocą platformy Arduino, systemu Android i zwykłego komputera. Gliwice Helion, 2013.
- [2] Dechnik M., Moskwa Sz., Smart House – inteligentny budynek – idea przyszłości, *Przegląd Elektrotechniczny*, 93 (2017), nr.9, 1-10
- [3] Dounis A.I., Caraiscos C., Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier*, 13 (2009), 1246 - 1261
- [4] Powroźnik P., Michta E., Elastic model of energy management in micro smart grid, *W: International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation - ISNCC 2015: 12th conference - seminar. Łagów, Polska, 2015 .- Piscataway: Institute of Electrical and Electronics Engineers*, (2015), 1-6
- [5] Powroźnik P., Reduction of peak demand in micro smart grid by means of elastic model of power management, *Przegląd Elektrotechniczny*, (2016), nr 12, 205-208
- [6] Powroźnik P., Szulim R. Reduction of peak energy demand based on smart appliances energy consumption adjustment, *W: Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry and High Energy Physics Experiments 2017. Wilga, Polska, 2017.- Bellingham: Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers. SPIE, 2017 Proceedings of SPIE*, (2017), vol 10445, 1-11
- [7] Miller M.: Internet rzeczy. Jak inteligentne telewizory, samochody, domy i miasta zmieniają świat. Warszawa: Wydawnictwo Naukowe PWN, 2016.
- [8] Trifa V., Guinard D.: Internet rzeczy. Budowa sieci z wykorzystaniem technologii webowych i Raspberry Pi, Gliwice Helion, 2017.
- [9] Doukas H., Patlitzianas K. D., Iatropoulos K., Psarras J., Intelligent building energy management system using rule sets, *Building and Environment, Elsevier*, 42 (2007), 3562 - 3569
- [10] Długosz M., Chronowski J., Baranowski J., Piątek P., Mitkowski W., Skrucz P., Bezprzewodowy system automatyki domowej pracujący w standardzie sieci Z-Wave, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 17 (2013), nr 7-8, 100 - 106
- [11] Łukaszewski R., Prus A., Winięcki W., Rozproszony system pomiarowy z transmisją bezprzewodową Wi-Fi i GSM z wykorzystaniem modułu FieldPoint, *Pomiary Automatyka Robotyka*, 7-8 (2004), 85 - 89
- [12] Powroźnik P., Kuśmierk D., Analiza bezprzewodowej transmisji danych w systemach zarządzania budynkiem, *W: Systemy pomiarowe w badaniach naukowych i w przemyśle - SP 2018 : XII konferencja naukowa. Łagów, Polska, 2018 .- Zielona Góra : Oficyna Wydaw. Uniwersytetu Zielonogórskiego*, (2018), 123-126
- [13] Farahani S., ZigBee Wireless Networks and Transceivers, *Elsevier*, (2008)
- [14] Nordic Semiconductor: nRF24L01+ Single Chip 2.4GHz Transceiver, [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus\\_Preliminary\\_Product\\_Specification\\_v1\\_0.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus_Preliminary_Product_Specification_v1_0.pdf), 2008
- [15] Monk S.: Arduino dla początkujących. Kolejny krok. Gliwice Helion, 2015
- [16] Monk S.: Elektronika z wykorzystaniem Arduino i Rapsberry Pi. Receptury, Gliwice Helion, 2018
- [17] Strona domowa firmy The MathWorks, Inc.: [thingspeak.com](http://thingspeak.com)