

doi:10.15199/48.2022.01.33

## Estymacja jakości transmisji w systemie LTE na podstawie wskaźników mierzonych przez moduł radiowy

**Streszczenie.** W referacie zaprezentowano stanowisko pomiarowe do badania jakości transmisji w systemie LTE. Przedstawiono także wyniki pomiarów BLER oraz przepływności dla różnych warunków propagacyjnych oraz mierzone przez moduł parametry RSRP, RSRQ, RSSI, SINR i MCS. Wyniki pomiarów posłużyły do przeprowadzenia analizy możliwości estymacji jakości transmisji w systemie LTE jedynie na podstawie wyników pomiarów realizowanych przez komercyjny moduł radiowy.

**Abstract.** The paper presents a measurement stand for testing transmission quality in the LTE. The results of BLER and bit rate measurements for various propagation conditions as well as RSRP, RSRQ, RSSI, SINR and MCS parameters measured by the module are also presented. Those measurements were utilized to analyze the possibility of estimating the transmission quality in the LTE only on the basis of the results of measurements carried out by a commercial radio module. (*Transmission quality estimation in LTE basing on indicators measured by radio module*).

**Słowa kluczowe:** LTE, IoT, koncentrator danych, wskaźniki jakości odbioru.

**Keywords:** LTE, IoT, data concentrator, reception quality indicators.

### Wstęp

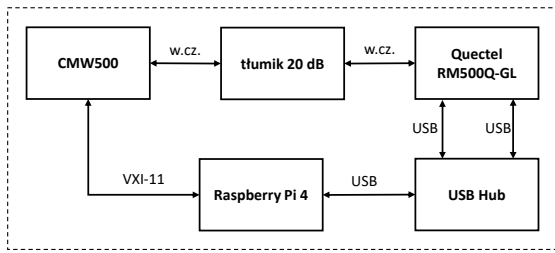
W ostatnich latach powstało dużo produktów na rynek AMI (*Advanced Metering Infrastructure*) [1], SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) [2], HAN (*Home Area Network*) [3] i IoT (*Internet of Things*). Poważną lukę stanowi jednak brak urządzeń pracujących na styku tych sieci, umożliwiających koncentrację danych oraz wytwarzanie zbiorów informacji do zarządzania i monitorowania sieci elektroenergetycznych. W Katedrze Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej jest realizowany, w konsorcjum z firmą DGT, projekt o tytule: „Koncentrator danych elektroenergetycznych z innowacyjną funkcjonalnością decyzyjną i funkcjonalnością bramy w środowisku AMI, SCADA, HAN, IoT” o akronimie KODEŚ [4]. Celem projektu jest opracowanie koncentratora danych, umożliwiającego pracę systemu AMI na styku SCADA, HAN i IoT. Koncentrator KODEŚ będzie wyposażony w elementy zdolne do podejmowania samodzielnych decyzji na styku sieci (*edge computing*), funkcje bramy w zakresie DNP3/DLMS (*Distributed Network Protocol version 3 / Device Language Message Specification*) oraz innowacyjne funkcje multilink, umożliwiające automatyczny wybór łącza radiokomunikacyjnego, w zależności od przeznaczenia interfejsów i jakości transmisji.

W celu zaimplementowania wymienionych funkcji należy przeprowadzić badania korelacji pomiędzy wskaźnikami jakości odbioru, takimi jak: RSRP (*Reference Signal Received Power*), RSRQ (*Reference Signal Received Quality*), SINR (*Signal To Interference Plus Noise Ratio*), RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) [5] a osiąganą jakością transmisji, ocenianą na podstawie przepływności oraz mierzonych wartości blokowej stopy błędu BLER (*Block Error Rate*), dla różnych systemów łączności radiowej. Znajomość tych relacji pozwoli opracować algorytm przełączania (multilink) pomiędzy różnymi technikami transmisji bezprzewodowej, w sposób zapewniający pracę koncentratora z możliwie najwyższą jakością i niezawodnością realizowanych usług. W niniejszym referacie zaprezentowano wyniki pomiarów oraz analiz wykonane dla technologii LTE (*Long Term Evolution*).

### Stanowisko pomiarowe

Do przeprowadzenia badań zaprojektowano stanowisko pomiarowe, którego schemat zaprezentowano na rys. 1. Składa się ono z testera radiokomunikacyjnego Rohde&Schwarz CMW500, który podczas omawianych badań emulował stację bazową systemu LTE. Tester ten połączono z modułem radiowym firmy Quectel RM500Q-GL pracującym w technologii LTE z użyciem tłumika 20 dB. Połączenie to jest zrealizowane z użyciem przewodów koncentrycznych RF, dzięki czemu jest ono stabilne, a warunki propagacyjne są powtarzalne. Pogorszenie warunków propagacyjnych realizowane jest w sposób kontrolowany, dzięki wbudowanemu w tester emulatorowi kanału z zanikami oraz generatorowi szumu. Komputer Raspberry Pi 4 został użyty do sterowania testerem z użyciem komend SCPI (*Standard Commands for Programmable Instruments*) [6] oraz modułem radiowym komendami AT. Oprogramowanie do automatyzacji pomiarów zostało napisane w języku C++ z wykorzystaniem zestawu przenośnych bibliotek i narzędzi programistycznych Qt. Umożliwia ono ustawienie parametrów realizowanej transmisji, takich jak: moc sygnału RS EPRE (*Reference Signal Energy Per Resource Element*), stosunek sygnału do szumu SNR (*Signal to Noise Ratio*), kanał częstotliwościowy, szerokość pasma, wskaźnik jakości transmisji CQI (*Channel Quality Indicator*) oraz profil zaników. Tester RS CMW500, nie tylko emuluje stację bazową i umożliwia zrealizowanie transmisji w standardzie LTE, ale również pozwala na przeprowadzenie pomiarów jakości realizowanej transmisji poprzez pomiar przepływności oraz parametru BLER (*Block Error Rate*). Z modułu radiowego podczas realizowanych transmisji są odczytywane parametry RSRP, RSRQ, SINR, RSSI oraz MCS (*Modulation and Coding Scheme*).

Celem realizowanych badań jest określenie korelacji pomiędzy parametrami mierzonymi przez moduł, a rzeczywistą jakością transmisji mierzoną przez tester radiokomunikacyjny CMW500. Znajomość tej zależności pozwoli opracować algorytm multilink przeznaczony do sterowania pracą koncentratora KODEŚ w zakresie wyboru najkorzystniejszego interfejsu radiowego.



Rys.1. Schemat blokowy stanowiska pomiarowego

### Wyniki

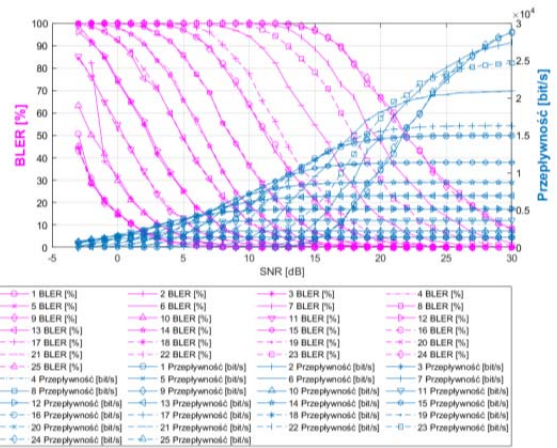
Przeprowadzenie odpowiednich analiz wymagało wykonania pomiarów jakości transmisji danych dla różnych wartości SNR. Dla każdej z tych wartości realizowano 1000 retransmisji. Urządzenia zawsze pracowały w paśmie Band 1 (pasmo 2140 MHz), przy szerokości pasma 10 MHz. Podczas pomiarów z uwagi na dokument [7] oraz właściwości kanału radiowego przedstawione w publikacjach [8, 9] ustawiono profil zaników typu Extended Pedestrian A (koncentrator KODEŚ ma pracować w warunkach statycznych, gdzie nie należy spodziewać się szybkich zmian warunków propagacyjnych). W zależności od serii zmieniano częstotliwość Dopplera oraz parametr CQI (Tab.1). W każdej z serii pomiarowych wykonano 34000 transmisji dla SNR w zakresie od -4 do 30 dB.

Tabela 1. Częstotliwość Dopplera oraz CQI dla poszczególnych scenariuszy pomiarowych

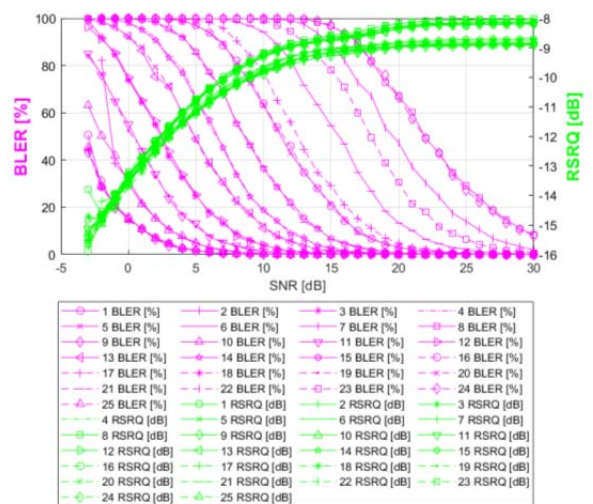
Nr serii	Częstotliwość Dopplera [Hz]	CQI
1	3	1
2	3	3
3	3	5
4	3	7
5	3	9
6	3	11
7	3	13
8	3	15
9	1	2
10	1	3
11	1	4
12	1	5
13	1	6
14	1	7
15	1	8
16	1	9
17	1	10
18	3	2
19	3	4
20	3	6
21	3	8
22	3	10
23	3	12
24	3	14
25	1	1

Otrzymane wyniki pozwoliły przeprowadzić szereg analiz. Na rys. 2 zaprezentowano zależność zmierzonych wartości parametru BLER oraz przepływności względem SNR. Widoczna jest zmienna odporność systemu LTE na na zmienne warunki transmisji w zależności od przyjętego schematu modulacyjno-kodowego. Im większa wartościowość modulacji, tym większy SNR musi być zapewniony do poprawnego odbioru. Widać także, że im większa wartość CQI, tym uzyskiwane maksymalne przepływności są większe i odwrotnie proporcjonalne do wartości BLER. Jednakże BLER oraz przepływność są parametrami, które mają być estymowane na podstawie danych odczytywanych z modułu radiowego. Dlatego też wykreślono zależności średnich wartości RSRQ, RSRP, RSSI, SINR oraz MCS w zależności od SNR (odpowiednio rys. 3 - 7). Można zauważyć, że niezależnie od przyjętego CQI, mierzone przez moduł wartości parametrów RSRP, RSRQ oraz SINR są zbliżone dla danej wartości SNR. Oznacza to, że nie można na podstawie tych danych oszacować wartości BLER ani przepływności, można natomiast ocenić wartość SNR. Przy czym charakter zmian RSRQ nie jest liniowy, przez co odwzorowanie wartości tego parametru na SNR może być obarczone błędami, zwłaszcza w zakresie wysokich SNR. Wartość RSRP nie

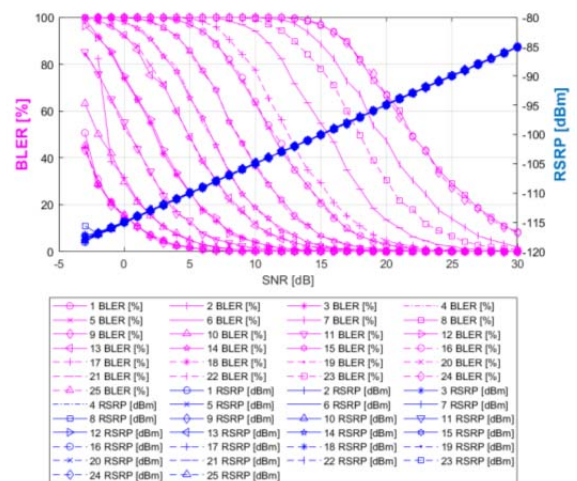
świadczy o stosunku SNR, a jedynie o wartości mocy sygnału odbieranego, która podczas pomiarów była zmniejszana (natomiast wartość mocy szumu była stała) – stąd liniowy charakter obserwowanych zmian. Jedynie parametry SINR oraz RSSI (w zakresie SNR większych niż 5 dB) mogą być w prosty sposób odwzorowane na wartość SNR w punkcie odbioru, ze względu na ich liniowy charakter zmian.



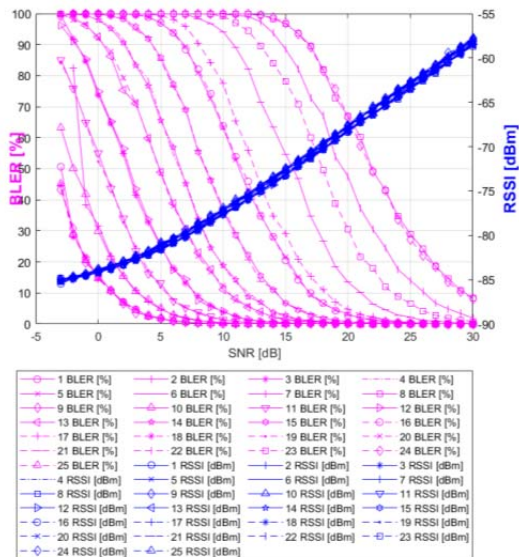
Rys.2. Zależność BLER i przepływności od SNR



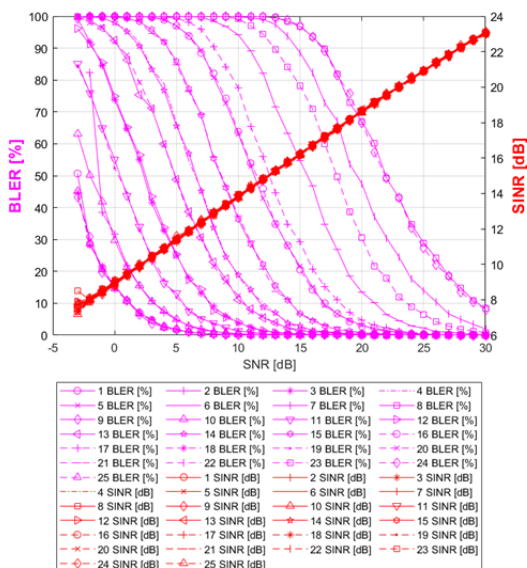
Rys.3. Zależność BLER i RSRQ od SNR



Rys.4. Zależność BLER i RSRP od SNR



Rys.5. Zależność BLER i RSSI od SNR

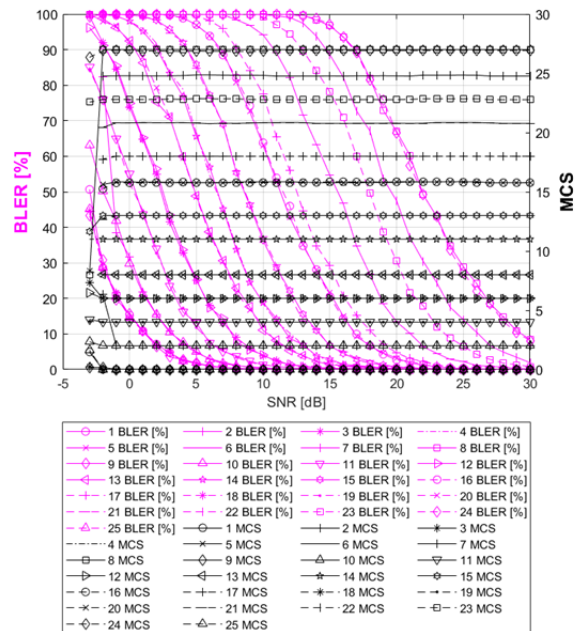


Rys.6. Zależność BLER i SINR od SNR

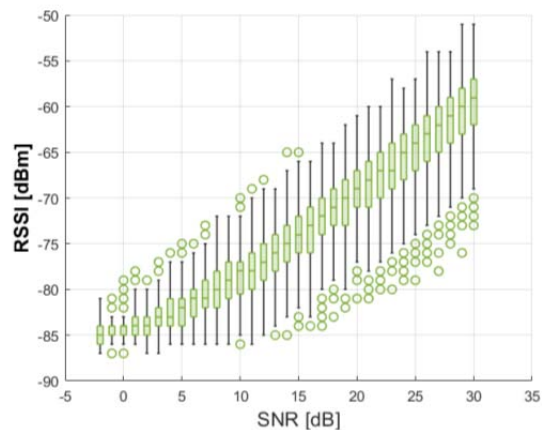
Jednakże analizując rozrzut mierzonych wartości obu parametrów, stwierdzono, że zakres mierzonych RSSI dla danego SNR zmienia się w zakresie nawet 5 dB dla 50 % pomiarów, a SINR w zakresie 2 dB, co zostało zobrazowane na wykresach pudełkowych (rys. 8 i 9). Stąd korzystniej jest oceniać SNR na podstawie wartości SINR. Znając SNR można oszacować BLER i przepływność pod warunkiem znajomości schematu modulacyjno-kodowego. W module radiowym LTE informacja ta jest zwracana jako parametr MCS [10]. Na rys. 6 przedstawiono zmierzone wartości dla wszystkich serii w zależności od SNR. Wartość MCS nie zależy od SNR a jedynie od zadanego parametru CQI. Jedynie dla bardzo małych SNR (poniżej 0 dB) odczytywana wartość MCS jest błędna. Jednakże, dla tak małych SNR, bez względu na przyjęty schemat modulacyjno-kodowy wartości BLER są większe niż 10 %.

W celu oceny zależności BLER od przyjętego schematu modulacyjno-kodowego odczytywano dla każdego scenariusza pomiarowego dla jakiej najmniejszej wartości SNR wartość średnia BLER będzie mniejsza niż 10 %. BLER większy niż 10 % świadczy o niewystarczającej jakości transmisji. Wyniki zaprezentowano na rys. 10. Na

osi OX zaznaczono wartość MCS dla poszczególnych scenariuszy, natomiast na osi OY zaznaczono odczytaną najmniejszą wartość SNR, dla której BLER jest mniejszy niż 10 % dla danego MCS. Liniowy charakter zaprezentowanego wykresu świadczy o możliwości odwzorowania mierzonej wartości SNR na osiąganą wartość BLER przy zadanym CQI z dokładnością do 10 % BLER. Dokładność taka w ocenie BLER z punktu widzenia projektowanego algorytmu multilink jest niewystarczająca. Jednakże przeprowadzono tą samą analizę, przyjmując jednak wartość progową BLER 1 %. Uzyskano bardzo zbliżony wykres do prezentowanego na rys. 10. Stąd wniosek, że taki sposób podejścia do odwzorowania mierzonych w module wartości na spodziewaną wartość BLER jest poprawny.



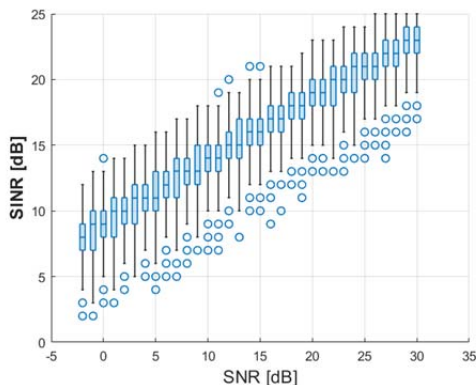
Rys.7. Zależność BLER i MCS od SNR



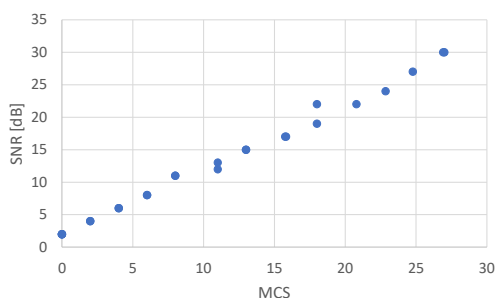
Rys.8. Wykres pudełkowy zmierzonych RSSI dla serii 16

Podobną analizę jak dla BLER przeprowadzono dla zmierzonych przepływności. Znając przyjętą wartość MCS można wyliczyć spodziewaną maksymalną przepływność na podstawie informacji z [10], wiedząc, że podczas wszystkich pomiarów liczba bloków RB (*Resource Blocks*) wynosiła 50. Analizując uzyskane charakterystyki mierzonych przepływności względem SNR, poszukiwano jak największej wartości SNR, dla której zmierzona

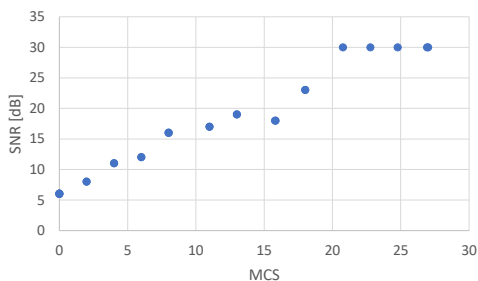
przeptywność była większa od maksymalnej oczekiwanej pomniejszonej o 2 %. Znalezione wartości SNR dla wszystkich serii przedstawiono na rys. 11 względem parametru MCS.



Rys.9. Wykres pudełkowy zmierzonych SINR dla serii 16



Rys.10. Zależność SNR od MCS dla granicznej wartości BLER = 10%



Rys.11. Zależność SNR od MCS dla spadku przepływności transmisji o 2 %

Analizując wykres z rys. 11 można zauważyć, że maksymalne przepływności dla MCS większego niż 20 uzyskiwano tylko dla SNR = 30 dB. Natomiast, dla MCS mniejszych niż 20 przepływności zbliżone do maksymalnych uzyskiwano już dla coraz mniejszych SNR. Można przyjąć, że te zmiany granicznej wartości SNR są w tym zakresie liniowe. Na podstawie przedstawionych wyników można stwierdzić, że także możliwa jest estymacja spodziewanej przepływności w zależności od przyjętego podczas transmisji MCS i mierzonych SNR.

## Podsumowanie

W referacie przedstawiono stanowisko laboratoryjne do badania jakości transmisji w technologii LTE na potrzeby opracowania algorytmu multilink dedykowanego dla koncentratora danych KODEŚ. Zaprezentowano wyniki pomiarów parametrów jakościowych w systemie LTE: BLER, przepływność, RSRP, RSRQ, RSSI, SINR oraz MCS. Na podstawie przedstawionej analizy zgromadzonych danych pomiarowych można stwierdzić, że możliwa jest estymacja jakości realizowanej transmisji na podstawie znajomości parametrów mierzonych przez komercyjny moduł radiowy.

*Praca została zrealizowana w ramach projektu pt. Koncentrator danych elektroenergetycznych z innowacyjną funkcjonalnością decyzyjną, funkcjonalnością bramy i funkcjonalnością multilink, pracujący w środowisku i na brzegu sieci AMI, SCADA, HAN, IoT, współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego, umowa nr POIR.01.01.01-00-0651/19-00 z dnia 09.03.2020 r.*

**Autorzy:** mgr inż. Olga Błaszkiwicz, E-mail: [olga.blaszkiewicz@pg.edu.pl](mailto:olga.blaszkiewicz@pg.edu.pl); mgr inż. Robert Burczyk, E-mail: [robert.burczyk@pg.edu.pl](mailto:robert.burczyk@pg.edu.pl); dr inż. Agnieszka Czapiewska, E-mail: [agnieszka.czapiewska@pg.edu.pl](mailto:agnieszka.czapiewska@pg.edu.pl); dr inż. Małgorzata Gajewska, E-mail: [malgorzata.gajewska@pg.edu.pl](mailto:malgorzata.gajewska@pg.edu.pl); dr inż. Sławomir Gajewski, E-mail: [slagajew@pg.edu.pl](mailto:slagajew@pg.edu.pl); dr hab. inż. Jarosław Sadowski, E-mail: [jarsadow1@pg.edu.pl](mailto:jarsadow1@pg.edu.pl); Politechnika Gdańska, Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, ul. G. Narutowicza 11/12, 80-233 Gdańsk

## LITERATURA

- [1] Ghasempour A., Moon T.: Optimizing the Number of Collectors in Machine-to-Machine Advanced Metering Infrastructure Architecture for Internet of Things-based Smart-Grid, *IEEE Green Technologies Conference*, 2016.
- [2] Lawrence A., Iqbal T.: Development of an IoT Based Open Source SCADA System for PV System Monitoring, *IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering*, 2019.
- [3] Soniya J., Divya M.: A novel architecture for efficient communication in smart grid home area network, *IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, 2015.
- [4] Błaszkiwicz O., Burczyk R., Czapiewska A., Gajewska M., Gajewski S., Marczak A., Miszewski M., Sadowski J., Stefański J.: Stanowisko badawcze do automatycznej analizy jakości transmisji koncentratora KODEŚ z interfejsami LTE, NB-IoT oraz ISM, *Przegląd Telekomunikacyjny i Wiadomości Telekomunikacyjne*, nr 1/2021.
- [5] 3GPP TS 36.214: LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer; Measurements, *Release 16*, 2020-07.
- [6] IEEE Standard Codes, Formats, Protocols, and Common Commands for Use With IEEE Std 488.1-1987, *IEEE Standard Digital Interface for Programmable Instrumentation*.
- [7] 3GPP TS 36.116: LTE, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Relay radio transmission and reception, *Release 11*, 2015-02.
- [8] Studanski R.: Distribution of envelope and phase of signals in ISM 2.4 GHz band transmitted in urban environment, *Proceedings of SPIE*, 2017
- [9] Studanski R., Czapiewska A.: Selected properties and parameters of radio channel impulse response estimation in ISM 2.4 GHz band, *Proceedings of SPIE*, 2019
- [10] 3GPP TS 36.213: LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical layer procedures, *Release 16*, 2021-02.