

Zastosowanie technologii 5G w IoT

Streszczenie. Artykuł stanowi przegląd zagadnień związanych z łącznością 5G oraz Internetem Rzeczy. W dalszej części publikacji przedstawiono zestaw wymagań jakie muszą zostać spełnione, w celu zastosowania technologii 5G w IoT oraz związane z tym problemy wdrożeniowe. Następnie przedstawiono koncepcję układu pomiarowego pozwalającego na badanie łączności 5G oraz jej wpływu na inne technologie transmisji bezprzewodowej takie jak Wi-Fi czy ZigBee.

Abstract. The article is an overview of issues related to 5G connectivity and the Internet of Things. The following part of the publication presents a set of requirements that must be met in order to use 5G technology in IoT and related implementation problems. Then, the concept of a measurement system enabling the study of 5G connectivity and its impact on other wireless transmission technologies such as Wi-Fi or ZigBee was presented. (**The use of 5G technology in IoT**).

Słowa kluczowe: technologia 5G, Internet Rzeczy, sieci bezprzewodowe

Keywords: 5G networks, Internet of Things, wireless networks

Wprowadzenie

Technologie 5G (piątej generacji) stają się coraz bardziej powszechne dzięki staraniom firm telekomunikacyjnych, ośrodków badawczych i rządów. Technologia ta często kojarzona jest z Internetem Rzeczy ponieważ często jest używana w celu poprawy jakości życia obywateli poprzez automatyzację i gromadzenie procesów zapamiętywania danych. W artykule przedstawiono technologie 5G i IoT oraz przedstawiono również przegląd zakłóceń występujących w najpopularniejszych zastosowaniach bezprzewodowych.

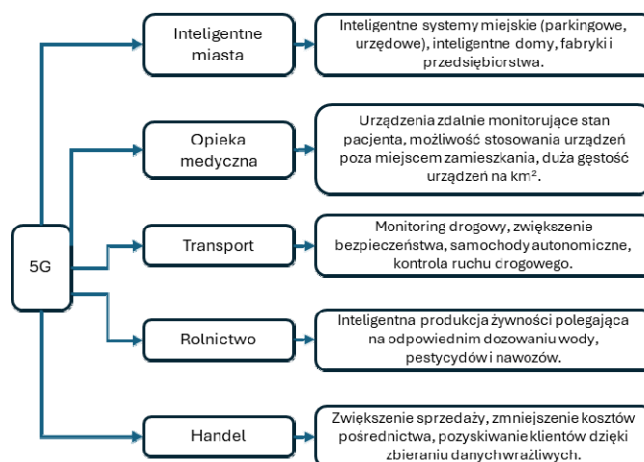
Pandemia Covid-19 zwróciła uwagę opinii publicznej na zdalne rozwiązania technologiczne i przyniosła ogromny popyt na rynek telekomunikacyjny. Konwergencja technologii 5G i Internetu rzeczy (IoT) [1] to kolejny krok dla dwóch zaawansowanych technologii opracowanych w celu poprawy jakości życia użytkowników [2]. 5G daje nowe możliwości biznesowe poprzez uzupełnienie istniejących technologii o Przemysł 4.0, urządzenia IoT i inteligentne miasta. Z kolei Internet Rzeczy to ekosystem o rosnącej złożoności: środowisko połączonych ze sobą obiektów zdolnych do przechwytywania krytycznych danych i przeprowadzania zaawansowanych analiz z wykorzystaniem możliwości opartych na chmurze w celu wydobycia istotnych informacji [3].

Koszty wdrożenia, zasięg, zakłócenia i możliwości urządzeń Internetu Rzeczy to czynniki wpływające na wybór właściwej, podstawowej lub uzupełniającej opcji łączności na potrzeby wdrożenia IoT. Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) lub Zigbee są odpowiednie dla niektórych elementów inteligentnej kontroli budynku, ale są bezużyteczne w przypadku wysoce mobilnych zastosowań rozległych [4]. Badania techniczne pokazują, że 5G i inne usługi mogą współistnieć w określonych pasmach częstotliwości, ale warunki techniczne muszą być odpowiednio dostosowane; w przeciwnym razie istnieje ryzyko wpływu innych technologii na koszty, zasięg i jakość działania usług 5G [5].

Technologie bezprzewodowe opracowane przez organizację 3GPP (ang. Third-Generation Partnership Project) oferują pewne zalety technologiczne, które pozwalają na zwiększenie zdolności infrastruktury LTE do obsługi rozległego rynku IoT zanim w pełni do nich technologia 5G, która zapewni aplikacjom IoT wymagającym dynamicznej kontroli procesów i automatyzacji w czasie rzeczywistym w różnych obszarach, takich jak pojazd-pojazd (V2V), pojazd-infrastruktura (V2I), ruchu o dużej prędkości oraz kontroli

przesyłu danych. Krytycznymi parametrami umożliwiającymi otrzymanie wymaganej wydajności dla tego rodzaju aplikacji są: opóźnienia sieci w zakresie submilisekundowym i bardzo wysoka niezawodność [7].

Na rysunku 1 przedstawiono strefy rynku IoT, w których można lub planuje się zastosować 5G. W celu wdrożenia technologii 5G, istnieją określone wymagania, w tym infrastruktura i specjalistyczny sprzęt, a ewolucja sieci bezprzewodowych doprowadziła do szybszego i bardziej niezawodnego przesyłania danych [8].



Rys. 1. Zastosowanie 5G w IoT

Ze względu na dotrzymanie odpowiedniego poziomu QoS (ang. Quality of Service) w systemach IoT istotne jest przeprowadzenie pełnej analizy wzajemnych interferencji i wpływu różnych technologii na jakość przesyłanych danych. W tym celu należy dokonać pomiaru wielu parametrów transmisyjnych każdej technologii bezprzewodowej, która miałaby być używana w systemie Internetu Rzeczy korzystającego z usług 5G.

Sieci 5G

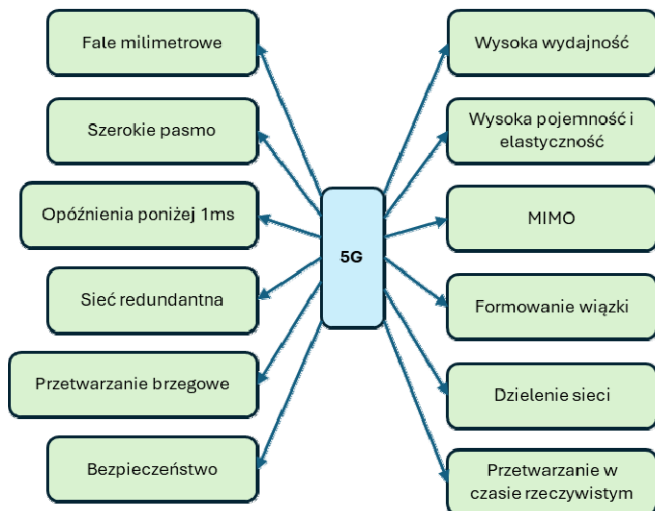
Technologia 5G umożliwia wielu technologiom związanym z masową komunikacją typu maszyna-maszyna (M2M) oraz IoT, usprawnianie i szybką łączność między urządzeniami, umożliwiając przede wszystkim automatyzację w branżach produkcyjnych i budowlanych. Jednakże Internet Rzeczy został również wdrożony na masową skalę w domach, centrach handlowych i parkach,

co oznacza, że technologia ta ma kilka zastosowań dla zwykłych, codziennych konsumentów.

Z technicznego punktu widzenia 5G działa w szerszym zakresie widma w porównaniu z tradycyjnymi technologiami bezprzewodowymi. W zakresie od 24 do 100 GHz zapewnia komunikację o niewielkim opóźnieniu i dużej przepustowości, ale podlega niekorzystnym warunkom wynikającym z działania na wysokiej częstotliwości [12]. Sieć 5G działa w dwóch pasmach częstotliwości: Sub 6 GHz i mmWave (fala milimetrowa). Chociaż mmWave oferuje większą szybkość przesyłania danych, ma ograniczony zasięg i łatwo ją zakłócać. Z drugiej strony pasmo Sub 6 GHz, które obejmuje częstotliwości poniżej 6 GHz, zapewnia większy zasięg i może przenikać przez przeszkody, takie jak budynki i ściany [12]. Oznacza to, że 5G może faktycznie działać w paśmie Sub 6 GHz, zapewniając użytkownikom bardziej niezawodną i dostępną sieć. Jest to szczególnie ważne na obszarach wiejskich i podmiejskich, gdzie penetracja budynków ma kluczowe znaczenie, a także w przypadku zastosowań w pomieszczeniach zamkniętych, gdzie sygnały o wyższych częstotliwościach mogą nie być w stanie dotrzeć.

W celu przeciwdziałania ograniczeniom środowiskowym, 5G zostało uzupełnione o nowe technologie. Najpopularniejsze z nich to kształtowanie wiązki, masowe MIMO, możliwość przesyłania tzw. mini komórek (ang. small cel), fale mmWave i elastyczny podział sieci.

Na rysunku 2 przedstawiono wymagania dla sieci 5G. Ta generacja to najnowsza generacja sieci komórkowych, która została zaprojektowana tak, aby zapewnić znaczną poprawę wydajności, pojemności i elastyczności w porównaniu z poprzednimi generacjami.



Rys. 2. Wymagania dla sieci 5G

Kolejną technologią stosowaną w sieciach 5G jest technologia masowego MIMO (ang. Multiple Input, Multiple Output), która polega na użyciu dużej liczby anten w celu zwiększenia liczby strumieni przestrzennych i poprawy wydajności kanału bezprzewodowego. Może to pomóc zwiększyć szybkość przesyłania danych i ogólną przepustowość sieci.

Kształtowanie wiązki (ang. Beamforming) to kluczowa technologia stosowana w sieciach 5G, gdyż wykorzystuje zaawansowane techniki skupiania sygnału radiowego w kierunku konkretnego urządzenia, zwiększając siłę sygnału i redukując zakłócenia. Technologia ta ma kluczowe znaczenie dla zapewnienia niezawodnej i szybkiej łączności w gęstym i dynamicznie zmieniającym się środowisku.

Dzielenie sieci (ang. Network Slicing) to kolejna cecha sieci 5G, która pozwala na tworzenie dedykowanych sieci wirtualnych spełniających specyficzne wymagania różnych aplikacji. Oznacza to, że urządzenia mogą przydzielać własne zasoby i usługi sieciowe, zapewniając lepszą wydajność i bezpieczeństwo sieci. W sieciach 5G stosuje się także przetwarzanie brzegowe co zapewnia analizę danych w czasie rzeczywistym na brzegu sieci. Może to pomóc w zmniejszeniu opóźnień i poprawie wydajności aplikacji wrażliwych na czas, takich jak pojazdy autonomiczne i rzeczywistość wirtualna.

Niewielkie opóźnienia to kolejna cecha sieci 5G istotna w przypadku zastosowań wymagających komunikacji i reakcji w czasie rzeczywistym, takich jak pojazdy autonomiczne i zdalna chirurgia. Sieci 5G mają na celu osiągnięcie opóźnień poniżej 1 milisekundy. Wysoka niezawodność jest również kluczową cechą sieci 5G, a funkcje takie jak dzielenie sieci i nadmiarowe ścieżki sieciowe zapewniają ciągłość połączenia urządzeń. Jest to niezbędne w przypadku aplikacji o znaczeniu krytycznym, które wymagają wysokiej dostępności i krótkich przestoju. Sieci 5G obsługują komunikację w trybie pełnego duplexu, co pozwala na jednoczesną transmisję i odbiór danych.

Konwergencja sieci w 5G

Terminem często spotykanym w odniesieniu do technologii 5G jest konwergencja sieci. Termin ten może być niejasny, szczególnie gdy mówi się o technologiach bezprzewodowych, które już razem współistnieją na tym czy innym poziomie. Wyróżnia się dwie metody konwergencji:

- Pełna konwergencja oznacza głęboką integrację głównie sieci Wi-Fi i sieci komórkowej, do tego stopnia, że oba modemy są zamknięte w ujednoczonej strukturze krzemowej. W tym modelu konwergencji urządzenia Wi-Fi i 5G mogą współużytkować strukturę uwierzytelniania oraz korzystać z jednego stosu zasad i zarządzania, aby zapewnić kompleksową jakość w całej infrastrukturze.
- Konwergencja na zasadzie współistnienia oznacza, że Wi-Fi i 5G są nadal odrębne, ale łatwiej jest z nich korzystać razem. Na najbardziej podstawowym poziomie może to po prostu oznaczać podjęcie kroków w celu zminimalizowania zakłóceń (wzajemnych interferencji) w przypadku urządzeń obu technologii korzystających z tego samego nielicencjonowanego widma. Jednak współistnienie może obejmować również bardziej zaawansowane przekazywanie i sterowanie ruchem – zarządzane na poziomie urządzenia lub zarządzania – nawet jeśli działają jako oddzielne infrastruktury.

Pełna konwergencja mogłaby umożliwić bardziej precyzyjne, oparte na zasadach sterowanie transmisją pakietów w aplikacjach czasu rzeczywistego (na przykład gwarantowana łączność dla pojazdów autonomicznych). Natomiast obecnie wiele można zrobić w ramach współistnienia, zapewniając nawet pewien poziom inteligentnego zarządzania ruchem i przekazywania połączeń. Przynajmniej w najbliższej przyszłości współistnienie ma szansę zapewnić bardziej praktyczne możliwości. Najistotniejsze w tym przypadku jest zbadanie parametrów sieci 5G i jej wpływu na wybrane parametry sieci Wi-Fi. Zwłaszcza chodzi tu o przepustowość, opóźnienia pakietów i stopę błędów. Koncepcję układu pomiarowego pozwalającego na analizę tych parametrów przedstawiono w kolejnym rozdziale artykułu.

Jednym z najważniejszych sposobów, w jaki konwergencja sieci wpływa na usługi internetowe, jest zwiększenie dostępności i szybkości łącz internetowych.

Oznacza to, że dostawcy usług internetowych mogą oferować szereg nowych usług i aplikacji, których użycie wcześniej było niemożliwe, takich jak doświadczenia w rzeczywistości wirtualnej i rozszerzonej oraz interaktywne gry [6].

Obecnie nie wiadomo, jaki poziom konwergencji ostatecznie osiągną technologie bezprzewodowe, ale na pewno będzie to lepsze i bardziej efektywne współistnienie niż dzisiejsze. Konwergencja pozwoli na obsługę zaawansowanych zastosowań bezprzewodowych (gdy przedsiębiorstwa będą mogły ściślej zintegrować Wi-Fi i 5G, będą mogły wykorzystywać każdą technologię do wzmacniania drugiej). Będzie można wypełniać luki w zasięgu w środowiskach wewnętrznych i zewnętrznych, uwierzytelniać urządzenia Wi-Fi z obsługą karty SIM w rdzeniach 5G i umożliwiać urządzeniom wybór najlepszej dostępnej sieci w oparciu o wydajność lub koszt. Pełna konwergencja to również uproszczenie operacji w przypadku, gdy przedsiębiorstwa korzystają z połączenia Wi-Fi, 5G, Bluetooth, Sigfox i innych technologii, a ich środowiska stają się niezwykle złożone. Kiedy firmy polegają na luźno powiązanych systemach, które muszą ze sobą współdziałać, zawsze istnieje większe ryzyko problemów – i znacznych kosztów ogólnych tworzenia, testowania i sprawdzania wdrożeń. Im więcej architektki sieci potrafią skonsolidować, tym łatwiejsza staje się ich praca. Kolejną zaletą konwergencji sieci jest różnicowanie ofert bezprzewodowych. Ścisłsza konwergencja może stworzyć nowe możliwości również dla dostawców usług. Na przykład wielu współczesnych operatorów na rynku Wi-Fi dla przedsiębiorstw to operatorzy telewizji kablowej, którzy w ostatnich latach zaczęli oferować usługi 5G/LTE jako operatorzy wirtualnych sieci komórkowych (MVNO). Możliwość ścisłego powiązania sieci 5G i Wi-Fi może pomóc im w oferowaniu bardziej zróżnicowanych rozwiązań bezprzewodowych dla przedsiębiorstw.

Największym problemem konwergencji jest kwestia zmniejszenia lub wyeliminowania wzajemnych interferencji pomiędzy sieciami bezprzewodowymi. Jest to spowodowane używaniem tego samego pasma częstotliwości co powoduje nakładanie się kanałów transmisyjnych zwłaszcza w pasmach nielicencjonowanych. W celu zmniejszenia zakłóceń, można zsynchronizować lub skoordynować wszystkie sieci lub wdrożyć duże pasma ochronne, które zabierają użyteczne widmo. W praktyce, przy konwergencji różnych technologii bezprzewodowych, wymagana jest ścisła współpraca między wszystkimi operatorami w każdym paśmie częstotliwości i prawdopodobnie nie wszystkie tryby użytkowania i wszystkie rodzaje wdrożeń 5G będą mogły być obsługiwane jednocześnie [9]. Można wdrożyć różne techniki zarządzania wzajemnymi zakłóceniami powodowanymi interferencjami, takie jak kontrola mocy, przydzielanie kanałów i kształtowanie wiązki, aby zapewnić, że urządzenia IoT w tej samej sieci nie będą się wzajemnie zakłócać. Techniki te mogą być jednak skomplikowane i wymagać znacznych zmian w infrastrukturze sieciowej [9].

Kolejnym istotnym wyzwaniem w zarządzaniu wzajemnymi interakcjami w sieciach 5G jest różnorodność urządzeń i aplikacji korzystających z tych sieci. Usługi IoT mogą być używane w różnych gałęziach przemysłu, w tym w służbie zdrowia, produkcji i transporcie, a każda z nich ma unikalne wymagania dotyczące łączności i opóźnień [10]. Przykładowo w służbie zdrowia urządzenia IoT, takie jak opaski monitorujące i systemy zdalnego monitorowania pacjenta, wymagają małych opóźnień i niezawodnej łączności, aby zapewnić przesyłanie poprawnych danych i alertów. Natomiast urządzenia IoT stosowane w automatyce przemysłowej wymagają dużej

przepustowości i małych opóźnień, aby skutecznie działać [11].

IoT i jego implementacja w sieciach 5G

Ewolucja technologii IoT ma znaczący wpływ na kształtowanie sieci 5G. W miarę jak coraz więcej urządzeń jest podłączonych do Internetu, rośnie zapotrzebowanie na szybszą i bardziej niezawodną łączność. Obecny stan wiedzy i powiązane prace nad wpływem interferencji różnych technik bezprzewodowych w sieci 5G na usługi IoT podkreślają znaczenie skutecznych technik zarządzania wzajemnymi interakcjami w celu zapewnienia niezawodności i wydajności sieci 5G dla zastosowań IoT [9]. W badaniach zaleca się stosowanie zaawansowanych technik zarządzania wzajemnymi zakłóceniami, takich jak dynamiczna alokacja kanałów, kontrola mocy, adaptacyjne kształtowanie wiązki i współdzielenie widma. Konieczne są jednak dalsze badania, aby opracować nowe i skuteczniejsze techniki zarządzania zakłóceniami, które mogłyby sprostać wyzwaniom stojącym przed sieciami 5G i usługami IoT.

Z tych powodów zarządzanie siecią 5G wymaga kompleksowego podejścia, które uwzględni różnorodne wymagania dotyczące łączności i opóźnień różnych urządzeń i aplikacji IoT. Kolejnym ważnym wyzwaniem jest możliwość wystąpienia zakłóceń zewnętrznych; chociaż techniki zarządzania interferencjami mogą zapewnić, że urządzenia IoT w tej samej sieci nie będą ze sobą kolidować, zakłócenia zewnętrzne mogą wystąpić, gdy urządzenia IoT działają w obszarach z innymi urządzeniami bezprzewodowymi, takimi jak routery Wi-Fi, urządzenia Bluetooth i inne urządzenia sieci komórkowych. Może to prowadzić do degradacji sygnału, zmniejszenia przepustowości i zmniejszenia niezawodności sieci. W rezultacie istotne jest uwzględnienie zakłóceń zewnętrznych podczas projektowania i wdrażania sieci 5G na potrzeby usług IoT oraz wykorzystanie technik takich jak koordynacja częstotliwości i współdzielenie widma [11, 12].

Sieci 5G pomagają zmniejszyć zużycie energii przez urządzenia IoT. Może to pomóc w wydłużeniu żywotności baterii i zmniejszeniu ich wpływu na środowisko. Jest to szczególnie ważne w przypadku urządzeń IoT, których wymiana lub ładowanie jest trudne lub kosztowne, takich jak czujniki rozmieszczone w odległych lub niedostępnych lokalizacjach [13,14].

Koncepcja układu pomiarowego

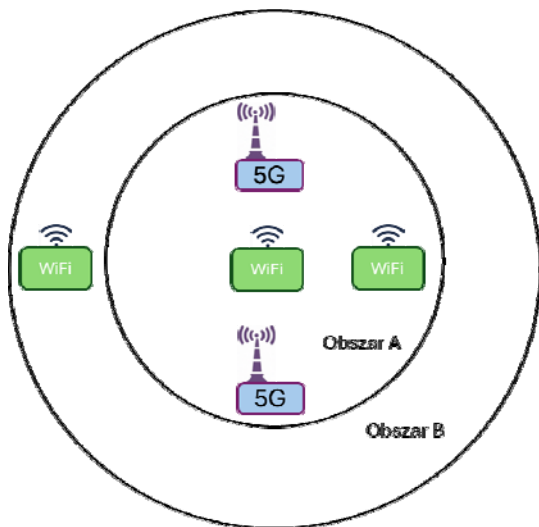
Ze względu na tak istotne współdziałanie technologii bezprzewodowych opisane w poprzednich rozdziałach autorzy opracowali układ pomiarowy, którego zadaniem będzie pomiar parametrów łączności 5G i Wi-Fi oraz pomiary parametrów transmisyjnych pozwalających na ocenę wzajemnego wpływu obu technologii na sieci. Do tych parametrów zalicza się zwłaszcza przepustowość, opóźnienia transmisyjne, stopę błędów, moc sygnału Wi-Fi i 5G w obecności różnego rodzaju zakłóceń aktywnych (inne sieci bezprzewodowe) jak i pasywnych (ściany budynków).

W układzie pomiarowym wykorzystano minikomputery Raspberry Pi używane we wcześniejszych badaniach sieci bezprzewodowych. Raspberry Pi jest dosyć wydajną platformą o wielu możliwościach pozwalającą w prosty sposób budować różne urządzenia Internetu Rzeczy. W bardzo prosty sposób pozwala na przyłączenie modułów dodatkowych oraz komputera. Do minikomputera dołączono dedykowane moduły rozszerzeń RM500U 5G wspierające sieci 5G (a także 4G oraz 3G). Moduł umożliwia przesyłanie danych w standardzie 5G (12 podstawowych pasm, w tym pasma darmowe) z prędkością do 2 Gb/s oraz jest wyposażony w odpowiednie złącza antenowe i złącza

pozwalające na dołączenie płytki głównej. Moduł posiada również dwa gniazda na kraty SIM. Całość jest obsługiwana programowo za pomocą komend AT.

Jako urządzenia Wi-Fi zostały wdrożone dwa rozwiązania. Jedno z użyciem starszych modułów typu WT8266 (zaimplementowanych na dedykowanych płytkach) pozwalających na pracę jedynie w standardach b/g/n oraz drugie rozwiązanie z użyciem kart sieciowych TP-Link przyłączanych bezpośrednio do komputerów przenośnych pracujących dodatkowo w standardzie Wi-Fi ac czyli w paśmie 5GHz.

Koncepcję rozmieszczenia modułów przedstawiono na rysunku 3. Założeniem układu jest po pierwsze zbadanie parametrów sieci 5G pracującej w warunkach pomieszczenia a następnie dodawanie modułów Wi-Fi w różnej konfiguracji do przestrzeni roboczej.



Rys. 3. Idea układu pomiarowego

Celem prowadzonych prac jest nie tylko pomiar parametrów poszczególnych sieci, ale przede wszystkim zbadanie ich wzajemnego oddziaływania w celu uzyskania informacji dotyczących najlepszej możliwej konwergencji obu technologii. Efektywna konwergencja 5G oraz Wi-Fi pozwoli na wyeliminowanie wielu problemów wdrożeniowych 5G do których należą zwłaszcza: problemy techniczne związane z interferencjami różnych technologii, potrzeba rozbudowanych i kosztownych architektur zapewniających pełny zasięg oraz kwestie bezpieczeństwa danych i ludzi.

Podsumowanie

Konwergencja technologii 5G i Internetu Rzeczy to istotny krok w kierunku zastosowania nowych możliwości i poprawy łączności na całym świecie. Ekosystem urządzeń IoT jest złożony, a wybór właściwej podstawowej lub uzupełniającej opcji łączności zależy od takich czynników, jak koszty wdrożenia, zasięg, zakłócenia i bezpieczeństwo. Badania techniczne wykazały, że 5G i inne usługi mogą współistnieć w określonych pasmach częstotliwości, pod warunkiem odpowiedniego dostosowania warunków technicznych. Dlatego tak istotny jest pomiar parametrów sieci 5G oraz sieci Wi-Fi w celu określenia dokładnych warunków współistnienia i współdziałania obu sieci.

Autorzy: dr. inż. Beata Krupanek, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: Beata.Krupanek@polsl.pl; dr. inż. Ryszard Bogacz, Politechnika Śląska, Katedra Metrologii, Elektroniki i Automatyki, ul. Akademicka 10, 44-100 Gliwice, E-mail: Ryszard.Bogacz@polsl.pl.

LITERATURA

- [1] Lin, Z.; Lin, M.; De Cola, T.; Wang, J.B.; Zhu, W.P.; Cheng, J. Supporting IoT with rate-splitting multiple access in satellite and aerial-integrated networks. *IEEE Internet Things J.*, 2021, 8, 11123–11134
- [2] Shao, D.; Mwangakala, H.; Ishengoma, F.; Mongi, H.; Mambile, C.; Chali, F. Sustenance of the digital transformations induced by the COVID-19 pandemic response: Lessons from Tanzanian public sector. *Glob. Knowl. Mem. Commun.* 2022
- [3] Krupanek B., Bogacz R.: Podstawowe zagadnienia związane z Internetem Rzeczy w systemie 6G, *Przegląd Elektrotechniczny* 11/2022, s.165
- [4] Montori, F.; Bedogni, L.; Di Felice, M.; Bononi, L. Machine-to-machine wireless communication technologies for the Internet of Things: Taxonomy, comparison and open issues. *Pervasive Mob. Comput.* 2018, 50, 56–81
- [5] Muteba, K.; Djouani, K.; Olwal, T. 5G NB-IoT: Design, Considerations, Solutions and Challenges. *Procedia Comput. Sci.* 2022, 198, 86–93
- [6] Chettri, L.; Bera, R. A comprehensive survey on Internet of Things (IoT) toward 5G wireless systems. *IEEE Internet Things J.* 2019, 7, 16–32
- [7] Hwang, S.H.; Liu, S.Z. Survey on 3GPP low power wide area technologies and its application. In Proceedings of the 2019 IEEE VTS Asia Pacific Wireless Communications Symposium (APWCS), Singapore, 28–30 August 2019; *IEEE: Piscataway, NJ, USA*, 2019; pp. 1–5
- [8] Krupanek B., Bogacz R.: Podstawowe problemy metrologii. PPM'22, G-ce, 2022, Prace Komisji Metrologii Oddziału PAN w Katowicach. Konferencje, 2022, vol. 23, Katowice, Polska Akademia Nauk, s.1-1
- [9] Yang, L.; Zhao, B.Y.; Zheng, H. The spaces between us: Setting and maintaining boundaries in wireless spectrum access. In Proceedings of the Sixteenth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Chicago, IL, USA, 20–24 September 2010; pp. 37–48
- [10] Krupanek B., Bogacz R.: Systemy pomiarowe w badaniach naukowych i przemyśle : XII Konferencja naukowa, Łągow, 2018. Measurement systems in research and in industry. 12th Scientific conference, Uniwersytet Zielonogórski, s.59-62
- [11] Siddiqi, M.A.; Yu, H.; Joung, J. 5G ultra-reliable low-latency communication implementation challenges and operational issues with IoT devices. *Electronics* 2019, 8, 981
- [12] Gupta, N.; Sharma, S.; Juneja, P.K.; Garg, U. Sdnfv 5g-iot: A framework for the next generation 5g enabled iot., *Proceedings of the 2020 International Conference on Advances in Computing, Communication & Materials (ICACCM)*, Dehradun, India, 21–22 August 2020; *IEEE: Piscataway, NJ, USA*, 2020; pp. 289–294
- [13] Jovović, I.; Forenbacher, I.; Periša, M. Massive machine-type communications: An overview and perspectives towards 5G, *Proceedings of the 3rd International Virtual Research Conference in Technical Disciplines*, Zilina, Slovakia, 19–23 October 2015; Volume 3.
- [14] Tao, J.; Umair, M.; Ali, M.; Zhou, J. The impact of Internet of Things supported by emerging 5G in power systems: A review *CSEE J. Power Energy Syst.* 2019, 6, 344–352.
- [15] Alsharif, M.H.; Nordin, R. Evolution towards fifth generation (5G) wireless networks: Current trends and challenges in the deployment of millimetre wave, massive MIMO, and small cells. *Telecommun. Syst.* 2017, 64, 617–637