

doi:10.15199/48.2024.12.26

Ontologia SAREF w wielokryterialnej analizie zastosowania technologii bezprzewodowych na potrzeby aplikacji w SmartCity

Streszczenie. Niniejsza praca analizuje technologie bezprzewodowe stosowane w inteligentnych miastach w kontekście aplikacji i ich potrzeb związanych z wymianą danych. Do analizy technologii transmisji danych użyto opracowanych przez autorów kryteriów oceny przydatności wybranych parametrów i dokonano próby ich sparametryzowania w skali 1 do 5. Kryteria starano się wybrać w odniesieniu do ontologii SAREF i jej zaleceń w kontekście tworzenia aplikacji dla inteligentnych miast. Omówione technologie obejmują sieci bliskiego, średniego i dalekiego zasięgu. Przedstawiono ich zastosowania w różnych obszarach miejskich, takich jak infrastruktura, monitorowanie czy zarządzanie zasobami.

Abstract. This paper analyzes wireless technologies used in Smart Cities in the context of applications and their needs related to data exchange. To analyze wireless transmission technologies, criteria developed by the authors were used to assess the usefulness of selected parameters. An attempt was made to parameterize them on a scale of 1 to 5. The criteria were selected in relation to the SAREF ontology and its recommendations in the context of creating applications for Smart Cities. The technologies discussed include short-, medium- and long-range networks. Their applications in various urban areas, such as infrastructure, monitoring and resource management, are presented. (SAREF ontology in multi-criteria analysis of the use of wireless technologies for SmartCity applications).

Słowa kluczowe: Technologie bezprzewodowe, Smart City, SAREF, SAREF4CITY, IoT.

Keywords: Wireless technologies, Smart City, SAREF, SAREF4CITY, IoT.

Wstęp

Współczesne miasta, stając w obliczu licznych wyzwań związanych z dynamicznym wzrostem populacji, urbanizacją oraz koniecznością zrównoważonego zarządzania zasobami, muszą poszukiwać innowacyjnych rozwiązań technologicznych. Koncepcja inteligentnych miast (Smart Cities) stanowi odpowiedź na te wyzwania, integrując zaawansowane technologie informacyjno-komunikacyjne (ICT) w celu poprawy jakości życia mieszkańców, zwiększenia efektywności infrastruktury oraz promowania zrównoważonego rozwoju. W tym kontekście technologie bezprzewodowe odgrywają kluczową rolę, umożliwiając nieprzerwaną i niezawodną komunikację pomiędzy różnorodnymi systemami i urządzeniami.

Inteligentne miasta opierają się na zbieraniu i analizowaniu danych w czasie rzeczywistym, co znacząco usprawnia zarządzanie miejską infrastrukturą. Technologie bezprzewodowe, takie jak Wi-Fi 6, sieci komórkowe 5G, Bluetooth, LoRaWAN oraz sieci sensorowe (ZigBee/Thread), pozwalają na monitorowanie stanu zasobów, zarządzanie transportem, energią oraz zapewnienie bezpieczeństwa publicznego. Integracja tych rozwiązań pozwala miastom na bardziej responsywne i efektywne reagowanie na potrzeby mieszkańców oraz na wyzwania związane ze zmieniającymi się warunkami środowiskowymi.

W miarę jak miasta stają się coraz bardziej złożonym ekosystemem wzajemnie powiązanych sieci urządzeń, istnieje możliwość wdrażania zaawansowanych rozwiązań technologicznych, które wspierają zrównoważony rozwój i poprawę jakości życia mieszkańców. Technologie bezprzewodowe stanowią fundament tych rozwiązań, umożliwiając tworzenie zaawansowanych systemów zarządzania miejską infrastrukturą. Kluczowe znaczenie ma tu zdolność do integracji różnych technologii oraz zarządzania nimi w sposób, który maksymalizuje korzyści dla mieszkańców przy jednoczesnej optymalizacji kosztów operacyjnych.

U podwalin inteligentnych miast stoi świat Internetu Rzeczy (IoT), w którym każde z urządzeń może wysyłać i odbierać dane. Na podstawie tych danych pobierane są informacje o otoczeniu i podejmowane są odpowiednie decyzje. Każde z urządzeń może zareagować na dowolne

zdarzenie wynikające z danych lokalnych, lub też dostać rozkaz wykonania określonej czynności od innych urządzeń, czy też serwisów na podstawie zbudowanej informacji o otoczeniu. Do tego dochodzą aplikacje dla mieszkańców, które w podobny sposób jak urządzenia fizyczne mogą odbierać i wysyłać informacje np. do służb miejskich. Wszystko to sprawia, że ekosystem związany z przesyłanymi danymi w środowisku miejskim staje się coraz bardziej skomplikowany. Dwa urządzenia różnych producentów mogą wysyłać te same dane, ale wzajemnie nie będą się komunikowały ze względu na inny sposób prezentowania tych danych. Aplikacje tworzone na potrzeby inteligentnych miast bazują na określonych założeniach i bardzo często na współpracy ze ściśle określoną grupą produktów. W przypadku gdy istnieje potrzeba wymiany urządzeń na inne, nowocześniejsze, dochodzi do braku kompatybilności pomiędzy aplikacjami a urządzeniami i w wielu przypadkach władze miast muszą podjąć decyzję: zlecić stworzenie nowego systemu opartego o nowe urządzenia i nową aplikację, czy też reanimować jeszcze ten, w którego zainwestowano już wcześniej środki, pomimo ujawniających się w trakcie jego działania braków i niedoskonałości.

W gestii władarzy miast jest, aby zlecając stworzenie zaawansowanego systemu działającego na potrzeby miasta inteligentnego, ich twórcy zwrócili szczególną uwagę na możliwie jak największą interoperacyjność swojego produktu. Zarówno w przypadku aplikacji jak i urządzeń będzie tu chodziło o to samo, czyli zdolność do rozumienia i interpretacji danych pochodzących z urządzenia a także danych dostarczanych do urządzenia z jego otoczenia.

W sukurs tym wyzwaniom przychodzi ontologia SAREF [1]. SAREF (*ang. Smart Applications REFerence ontology*) to opracowany przez Komisję Europejską standard do spójnego sposobu reprezentowania informacji o urządzeniach IoT, budynkach i infrastrukturze miejskiej. SAREF wspiera identyfikację i klasyfikację różnych urządzeń i usług w inteligentnych miastach, co jest kluczowe dla ich efektywnego zarządzania i integracji. Posiłkując się ontologią SAREF i jego rozszerzeniami np. SAREF4CITY [2], twórcy sprzętu jak i oprogramowania mogą stworzyć i dostarczyć na rynek produkt, który będzie

rozumiany przez inne, a więc będzie posiadał wysoki wskaźnik interoperacyjności.

SAREF poza opisem metod formalnych reprezentacji danych, umożliwi także stworzenie opisu urządzenia i jego możliwości, np. związanych z funkcjami ściśle komunikacyjnymi. Sam SAREF nie zawiera gotowych wzorców w tym zakresie, ale ontologia została tak pomyślana, aby można było korzystać z ontologii innych organizacji. W ten sposób urządzenie może powiadomić inne o swoich możliwościach np. maksymalnej prędkości transmisji, częstości odpływu, ale też o tym, jaką rolę może pełnić w systemie IoT, czy jakie ma zapotrzebowanie na energię. To samo dotyczy się aplikacji, które mogą brać pod uwagę ograniczenia określonych urządzeń z którymi współpracują i w sposób dynamicznie dopasować się do ich możliwości. Wprowadzenie ontologii SAREF do systemów miejskich może sprawić, że staną się one bardziej autonomiczne, a co za tym idzie bardziej „inteligentne”.

W niniejszej pracy na podstawie przemyśleń autorów oraz możliwości jakie daje ontologia SAREF zdefiniowane zostały kryteria oceny technologii bezprzewodowych, co pozwala na ich lepsze dostosowanie do specyficznych potrzeb inteligentnych miast. Analiza różnych aspektów funkcjonowania tych technologii, takich jak zdolność do integracji z istniejącą infrastrukturą, kompatybilność z różnymi standardami oraz możliwość skalowania i zarządzania, pozwala na lepsze zrozumienie ich potencjału.

Podjęta analiza pomoże w lepszym zrozumieniu, które technologie są najbardziej odpowiednie dla konkretnych zastosowań w inteligentnych miastach oraz jak mogą one przyczynić się do poprawy zarządzania i funkcjonowania tych złożonych systemów urbanistycznych. Wspieranie działań na rzecz tworzenia bardziej zrównoważonych, efektywnych i przyjaznych mieszkańcom miast, które są przygotowane na przyszłe wyzwania związane z urbanizacją i zmianami technologicznymi, jest kluczowym elementem rozwoju nowoczesnych miast. Artykuł jest rozszerzoną wersją pracy prezentowanej na konferencji Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemśle – SP 2024 [3].

Przegląd technologii bezprzewodowych

SmartCity korzysta z różnorodnych technologii bezprzewodowych, które są dostosowane do specyficznych potrzeb dynamicznie rozwijających się środowisk miejskich. W artykule omówione zostaną następujące technologie:

- **Wi-Fi 6E** – Wi-Fi 6, także znane jako IEEE 802.11ax, to najnowszy standard Wi-Fi, który przynosi znaczące poprawy w zakresie prędkości, efektywności energetycznej oraz opóźnień w porównaniu do poprzednich wersji. Działa na pasmach 2,4 GHz i 5 GHz, a rozszerzenie Wi-Fi 6E dodaje obsługę pasma 6 GHz, co zwiększa przepustowość i zmniejsza opóźnienia. Ta technologia jest doskonała do zastosowań wymagających dużej przepustowości i niskich opóźnień, takich jak zaawansowane systemy monitoringu i inne aplikacje w inteligentnych miastach [3, 4, 5],
- **5G** – 5G NR (*ang. New Radio*) to piąta generacja sieci komórkowej, która została stworzona z myślą o obsłudze szerokiego zakresu zastosowań, od zaawansowanego przesyłu danych po krytyczne zastosowania komunikacyjne. Działa na dwóch głównych pasmach częstotliwości: FR1 (450 MHz do 6 GHz) i FR2 (powyżej 24 GHz), co zapewnia lepsze pokrycie i penetrację budynków oraz wyższe prędkości transmisji. 5G oferuje znacznie większe prędkości, mniejsze opóźnienia oraz większą pojemność sieci w porównaniu do sieci 4G, co sprawia, że jest idealnym rozwiązaniem dla inteligentnych miast i aplikacji IoT [3, 5, 6, 7, 8],

- **Bluetooth LE** – Technologia Bluetooth, rozwijana od końca lat 90. XX wieku, umożliwia łatwe i efektywne połączenie różnych urządzeń, od słuchawek po inteligentne domy. Bluetooth działa w paśmie 2,4 GHz i oferuje niezawodne połączenia na krótkie odległości, z minimalnym zużyciem energii. Najnowsze wersje Bluetooth, takie jak 5.1, 5.2 i 5.3, wprowadzają liczne ulepszenia, w tym precyzyjne określanie położenia urządzeń, lepszą jakość dźwięku i zwiększoną wydajność energetyczną, co jest istotne dla urządzeń IoT i aplikacji w inteligentnych miastach [3, 9, 10, 11],

- **LoRaWAN** – LoRaWAN (*ang. Long Range Wide Area Network*) to technologia zaprojektowana do komunikacji na duże odległości przy niskim zużyciu energii. Działa w pasmach częstotliwości od 863 do 870 MHz i oferuje przepustowość od 0,3 kbps do 50 kbps. LoRaWAN jest idealna do zastosowań takich jak monitorowanie środowiska, inteligentne liczniki, zarządzanie flotą oraz inne aplikacje IoT w inteligentnych miastach. Technologia ta zapewnia również end-to-end szyfrowanie danych i ma zwiększony zasięg, sięgający do 15 km na otwartym terenie [11, 12, 13, 14],

- **Sieci sensorowe** – ZigBee i Thread to technologie sieci sensorowych, które charakteryzują się niską przepustowością, niskim zużyciem energii oraz dużą skalowalnością, co czyni je idealnymi dla inteligentnych domów i miast. ZigBee działa w paśmie 2,4 GHz i oferuje przepustowość 250 kbps oraz zasięg do 100 metrów na otwartym terenie. Thread natomiast oferuje podobną przepustowość, ale wyróżnia się architekturą mesh, która umożliwia tworzenie rozległych sieci bez pojedynczego punktu awarii. Obie technologie są stosowane w aplikacjach takich jak automatyka budynkowa, systemy oświetleniowe, monitorowanie i kontrola środowiska [3, 11, 15].

Kryteria

SAREF może być użyty przez specjalistów do oceny i wyboru technologii bezprzewodowych dla Smart City poprzez określenie technicznych kryteriów, które systemy i urządzenia muszą spełniać. Ontologia ta pomaga zidentyfikować technologie, które są najbardziej odpowiednie do aplikacji wymagających szybkiej komunikacji w czasie rzeczywistym lub niskiego zużycia energii. Na potrzeby niniejszej analizy opracowano zestaw kryteriów, według których będzie oceniana przydatność wybranych technologii bezprzewodowych do zastosowania w inteligentnych aplikacjach Smart City [1, 2]. Kryteria te obejmują:

- **Obsługa różnych typów danych** – wybrana technologia musi wspierać transmisję i obsługę danych zgodnie z ontologią SAREF4City, obejmując dane dotyczące infrastruktury miejskiej, usług, czujników i urządzeń. Powinna również umożliwiać kontekstowe i semantycznie bogate przesyłanie tych danych. Istotne są parametry komunikacyjne, takie jak przepustowość i opóźnienia – dane telemetryczne mogą być przesyłane przy niższych przepustowościach i wyższych opóźnieniach, ale urządzenia działające w czasie rzeczywistym wymagają wysokiej przepustowości i niskich opóźnień. Technologia powinna spełniać różnorodne wymagania dotyczące przepustowości aplikacji inteligentnych oraz oferować mechanizmy kontroli jakości usługi (QoS) w celu optymalizacji i priorytetyzacji transmisji danych.

- **Łączność i interoperacyjność** – technologia powinna wspierać łatwą integrację z istniejącą infrastrukturą sieciową oraz systemami, być kompatybilna z różnymi standardami i protokołami sieciowymi, a także ułatwiać wymianę danych i współpracę między różnymi inteligentnymi aplikacjami.

- **Koszt i efektywność** – technologia musi być ekonomiczna, oferując korzystny stosunek ceny do jakości. Powinna minimalizować koszty związane z infrastrukturą, wdrożeniem i utrzymaniem, zapewniając jednocześnie długoterminową skalowalność i optymalizację kosztów.
- **Niezawodność** – technologia powinna gwarantować stabilną i niezawodną transmisję danych, być odporna na awarie i zakłócenia, zapewniać minimalny czas przestoju oraz wysoką dostępność sieci dla aplikacji inteligentnych. Powinna także posiadać mechanizmy redundancji i odzyskiwania po awariach.
- **Skalowalność** – technologia musi być zdolna do obsługi rosnącej ilości danych i urządzeń, skalować się do dużych obszarów miejskich i złożonych sieci inteligentnych urządzeń, oraz oferować efektywne mechanizmy zarządzania i skalowania infrastruktury sieciowej.
- **Bezpieczeństwo** – technologia powinna zapewniać bezpieczne przesyłanie danych, chronić przed cyberatakami, implementować mechanizmy szyfrowania, uwierzytelniania i kontroli dostępu, oraz spełniać standardy bezpieczeństwa i ochrony prywatności danych.
- **Energooszczędność** – technologia musi umożliwiać monitorowanie i kontrolę zużycia energii, integrując się z systemami zarządzania energią (EMS). Powinna optymalizować zużycie energii poprzez algorytmy dostosowujące działanie urządzeń do zmieniających się warunków energetycznych i preferencji użytkowników, a także być kompatybilna z różnymi systemami i urządzeniami, wspierając wymianę danych zgodnie z modelem SAREF4ENER.
- **Łatwość wdrożenia i zarządzania** – technologia powinna być łatwa do wdrożenia, konfigurowania i zarządzania, oferować intuicyjne narzędzia i interfejsy użytkownika do administrowania siecią oraz zapewniać zautomatyzowane mechanizmy konfiguracji i zarządzania urządzeniami.
- **Wsparcie dla różnych typów urządzeń** – technologia musi obsługiwać szeroką gamę inteligentnych urządzeń i czujników, zapewniać integrację z różnymi standardami komunikacji urządzeń oraz ułatwiać zarządzanie i aktualizacje oprogramowania urządzeń.

Analiza zastosowań wybranych technologii bezprzewodowych na potrzeby wybranych aplikacji w Smart City

SAREF4City [2] to rozszerzenie ontologii SAREF, które służy do modelowania danych związanych z infrastrukturą miejską i różnymi usługami miejskimi. Usługi te obejmują szeroki zakres działań, które są kluczowe dla funkcjonowania nowoczesnych, inteligentnych miast. Do głównych kategorii usług zaliczają się:

- **Infrastruktura Miejska i Usługi (IMiU):** systemy nadzoru wideo, zarządzanie ruchem, bezpieczeństwo publiczne, aplikacje VR (*ang. Virtual Reality*) i AR (*ang. Augmented Reality*).
- **Urządzenia i Monitorowanie (UiM):** monitorowanie środowiskowe, inteligentne liczniki energii, systemy zarządzania budynkami, zarządzanie parkingami.
- **Obsługa i Czujniki (OiC):** sieci czujników IoT, proste komunikaty alarmowe i powiadomienia, systemy śledzenia zasobów, oświetlenie uliczne, zarządzanie wodą, gospodarka odpadami, monitoring wydajności urządzeń, zgłaszanie awarii, zarządzanie zasobami, czujniki monitorujące stan infrastruktury, koszenie trawników i nawadnianie.

W tabeli 1 sporządzono zestawienie przydatności wybranych technologii transmisji bezprzewodowej opisanych powyżej, w zależności od przyjętych kryteriów wynikających z ontologii SAREF4City. Akronimami IMiU, UiM oraz OiC oznaczono poszczególne grupy usług wykorzystywanych w SmartCity opisane powyżej.

Technologie dla każdego z kryterium zostały ocenione w skali od 1 do 5, gdzie każda ocena oznacza:

1. Bardzo słaba – nie spełnia podstawowych wymagań i jest nieefektywna,
2. Słaba – spełnia minimalne wymagania, ale nie jest optymalna,
3. Średnia – spełnia większość podstawowych wymagań, ale ma pewne ograniczenia,
4. Dobra – odpowiada większości, jeśli nie wszystkim, wymaganiom w danym kryterium.
5. Bardzo dobra – spełnia oczekiwania we wszystkich aspektach danego kryterium.

Tabela 1. Zestawienie technologii bezprzewodowych dla wybranych kryteriów w aplikacji w SmartCity

Technologie	Wi-Fi 6E			5G			Bluetooth LE			LoRaWAN			Sieci sensorowe (ZigBee/Thread)		
	IMiU	UiM	OiC	IMiU	UiM	OiC	IMiU	UiM	OiC	IMiU	UiM	OiC	IMiU	UiM	OiC
Obsługa różnych typów danych	5	1	1	5	1	1	2	5	2	1	1	5	1	4	5
Łączność i interoperacyjność	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	3	3	3	3
Koszt i efektywność	5	1	1	5	1	1	1	5	2	1	2	5	1	3	4
Niezawodność	5	5	5	4	4	4	4	4	4	1	1	5	4	4	4
Skalowalność	5	5	5	5	5	5	3	3	3	5	5	5	3	3	3
Bezpieczeństwo	5	5	5	5	5	5	3	3	3	4	4	4	3	3	3
Energooszczędność	1	2	3	1	2	3	3	4	4	5	5	5	4	4	4
Łatwość wdrożenia i zarządzania	5	5	5	2	2	2	3	3	3	5	5	5	4	4	4
Wsparcie dla różnych typów urządzeń	5	5	5	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3

Wnioski

Obsługa różnych typów danych – najlepsza technologia to komórkowa 5G, która oferuje najwyższą przepustowość oraz bardzo niskie opóźnienia, co czyni ją idealną dla aplikacji wymagających pracy w czasie rzeczywistym, takich jak zarządzanie ruchem miejskim czy telemedycyna. Wsparcie zaawansowanych mechanizmów QoS umożliwia priorytetyzację danych w zależności od ich krytyczności. Jest zdolna do obsługi dużej liczby urządzeń jednocześnie,

co jest kluczowe w kontekście inteligentnych miast. Ponadto, technologia ta oferuje bogate możliwości kontekstowego i semantycznego przesyłania danych, co jest zgodne z wymaganiami ontologii SAREF4City.

Łączność i interoperacyjność – najlepsza technologia to Wi-Fi 6 (IEEE 802.11ax) wspiera ona bezproblemową integrację z istniejącą infrastrukturą sieciową i systemami. Jest kompatybilna z wcześniejszymi wersjami Wi-Fi, co ułatwia współpracę z różnymi standardami i protokołami

sieciowymi. Umożliwia efektywną wymianę danych i współpracę między różnymi inteligentnymi aplikacjami, co jest kluczowe dla inteligentnych miast.

Koszt i efektywność – najlepsza technologia w tym zakresie to LoRaWAN. Jest technologią charakteryzującą się niskimi kosztami zakupu urządzeń oraz brakiem dodatkowych kosztów transmisji danych po ich zakupie. Jest idealna dla zastosowań IoT, oferując długi zasięg przy niskim zużyciu energii. Dzięki możliwości dodawania kolejnych punktów bazowych, LoRaWAN jest wysoce skalowalna i opłacalna w dłuższej perspektywie.

Niezawodność – najlepsza technologia to Wi-Fi 6. Swoje wysokie miejsce zawdzięcza zapewnieniu niezawodnej i stabilnej transmisji danych dzięki zaawansowanym mechanizmom zarządzania ruchem sieciowym oraz minimalizacji zakłóceń. Jest odporna na awarie i oferuje mechanizmy redundancji, co gwarantuje minimalny czas przestoju i wysoką dostępność sieci dla inteligentnych aplikacji.

Skalowalność – najlepsze technologie to 5G i LoRaWAN. Obie technologie oferują wyjątkową skalowalność, szczególnie w kontekście IoT. Są zdolne do obsługi dużych obszarów miejskich dzięki możliwości dodawania kolejnych punktów bazowych, oraz możliwości tworzenia sieci prywatnych.

Bezpieczeństwo – najwyższe noty w tym zakresie uzyskały Wi-Fi 6 oraz 5G. Są to technologie zaprojektowane z myślą o najwyższym poziomie bezpieczeństwa. Oferują zaawansowane mechanizmy szyfrowania i uwierzytelniania, które chronią dane przed cyberatakami. 5G wprowadza także zaawansowane mechanizmy kontroli dostępu i monitorowania sieci, co pozwala na szybkie wykrywanie i reagowanie na zagrożenia. Technologia ta spełnia międzynarodowe standardy bezpieczeństwa, zapewniając ochronę prywatności użytkowników.

Energooszczędność – w przypadku tego kryterium wybór jest oczywisty. Najlepszą technologią jest LoRaWAN, która cechuje się wyjątkową energooszczędnością. Czini to z niej idealne środowisko do zastosowań w IoT i Smart City, wymagających długiej żywotności na zasilaniu bateryjnym. Bardzo podobne noty uzyskały w tej kategorii sieci sensorowe. Ich żywotność jest równie wysoka jak w przypadku sieci LoRaWAN, ale część węzłów musi mieć zasilanie na stałe.

Łatwość wdrożenia i zarządzania – tu wyróżniającą technologią jest z pewnością Wi-Fi. Intuicyjne narzędzia oraz interfejs użytkownika ułatwia konfigurację i administrowanie siecią. Automatyzowane mechanizmy konfiguracji oraz zaawansowane narzędzia zarządzania ruchem sieciowym pozwalają na efektywne zarządzanie dużymi sieciami. LoRaWAN wydaje się być podobnie łatwą i intuicyjną technologią do wdrożenia i zarządzania, szczególnie w kontekście IoT. Oferuje zautomatyzowane mechanizmy konfiguracji i zarządzania urządzeniami oraz intuicyjne narzędzia do monitorowania sieci, co sprawia, że jest idealna dla szerokiego zakresu zastosowań.

Wsparcie dla różnych typów urządzeń – najlepsza technologia to Wi-Fi. Wyróżnia się przede wszystkim wsparciem dla szerokiego zakresu inteligentnych urządzeń i czujników. Technologia ta zapewnia integrację z różnymi

standardami komunikacyjnymi, co ułatwia zarządzanie i aktualizacje oprogramowania.

Podsumowanie

Przeprowadzona powyżej analiza jest zaledwie początkiem prac. Analiza ta skupiła się jedynie na pierwszoplanowych cechach technologii, które w sposób intuicyjny nasuwają się osobom obeznanym z każdą z nich. Jednakże każda z technologii ma jeszcze swoje cechy drugoplanowe, które w świecie IoT mogą odgrywać zdecydowanie większą rolę niż te główne. To one często będą decydować, którą z nich zastosować do konkretnej aplikacji. Pomimo iż z przedstawionego we wnioskach opisu wynika, że najlepszą siecią jest WiFi (najwięcej wysokich ocen), to nie da się jej zastosować wszędzie ze względu na ograniczony zasięg transmisji. Podobnie będzie z siecią 5G, czy LoRaWAN. Wszystko to prowadzi do wniosku, że obecnie nie istnieje rozwiązanie idealne. Wybór odpowiedniej technologii zależy od specyficznych wymagań i zastosowań, a ich skuteczne wdrożenie wymaga dokładnej analizy i dostosowania do unikalnych warunków każdego miasta.

Autorzy: mgr. inż. Olaf Hładki, Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki, ul. prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra., E-mail: olafhladki@gmail.com; dr inż. Dariusz Eljasz, Instytut Metrologii, Elektroniki i Informatyki, ul. prof. Z. Szafrana 2, 65-516 Zielona Góra, E-mail: D.Eljasz@imei.uz.zgora.pl.

LITERATURA

- [1] ETSI TS 103 264 V3.2.1 – SAREF CORE
- [2] ETSI TS 103 410-4 V1.1.2 – SAREF4CITY
- [3] Hładki O., Eljasz D., Analiza zastosowania technologii bezprzewodowych na potrzeby aplikacji w Smart City, Systemy Pomiarowe w Badaniach Naukowych i w Przemśle – SP 2024, Łagów, Oficyna Wydaw. Uniw. Zielonogór., 2024, pp. 27-30
- [4] <https://www.wifi.com.pl/wifi/features/SmartCity>
- [5] Krupanek B., Bogacz R., Zastosowanie technologii 5G w IoT, Przegląd Elektrotechniczny, No. 6, 2024, pp. 188 – 191
- [6] <https://www.ericsson.com/en/reports-and-papers/ericsson-technology-review/articles/5g-nr-evolution>
- [7] Korzeniewska E., Krawczyk A., Łada-Tondyra E., Plewako J., Technologia 5G jako etap rozwoju komunikacji bezprzewodowej, Przegląd Elektrotechniczny, No. 12, 2019, pp. 144 – 147
- [8] Dostalova P., Hromada M., Use of 5G networks in security Technologies, Przegląd Elektrotechniczny, No 8, 2023, pp. 87 – 91
- [9] <https://merehead.com/blog/differences-overview-of-bluetooth-5/>
- [10] Bluetooth Blog - Bluetooth Technology In the Smart City, <https://www.bluetooth.com/blog/bluetooth-in-smart-cities/>
- [11] Michta E., Eljasz D., Lewandowski W., Standardy komunikacyjne stosowane w systemach Smart Lighting, Przegląd Elektrotechniczny, No. 3, 2023, pp. 298--3
- [12] Sambor S., i inni Emilianowicz J., Owczarczak R.: Przykład zastosowania sieci LoRaWAN do monitorowania parametrów środowiskowych w budynku wielkopowierzchniowym, Przegląd Elektrotechniczny No. 5, 2022, pp. 27 - 32
- [13] Zankiewicz A.: Eksperymentalna analiza efektywności transmisji danych w sieci LoRaWAN w eksploatacji na terenie miejskim, Przegląd Elektrotechniczny, No. 5, 2023, pp. 41 - 48
- [14] LoRaWAN® Certification Protocol Specification 43 TS009-1.2.0, <https://lora-alliance.org>
- [15] ZigBee PRO specification, <https://csa-iot.org/all-solutions/zigbee/>