

**Wdrożenie systemu MEC w sieciach WLAN:  
Moduł współpracy serwera MEC z siecią dostępową WLAN**

MEC system implementation in WLAN networks:  
MEC server module providing integration with WLAN access networks

Michał Hoefl, Krzysztof Gierłowski, Józef Woźniak, Wojciech Gumiński, Krzysztof Nowicki, Jacek Rak

Wydział Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki, Politechnika Gdańska, Gdańsk  
[michal.hoefl@pg.edu.pl](mailto:michal.hoefl@pg.edu.pl), [krzgierl@pg.edu.pl](mailto:krzgierl@pg.edu.pl), [jowoz@eti.pg.edu.pl](mailto:jowoz@eti.pg.edu.pl), [wogumin@pg.edu.pl](mailto:wogumin@pg.edu.pl), [know@eti.pg.edu.pl](mailto:know@eti.pg.edu.pl),  
[jrak@pg.edu.pl](mailto:jrak@pg.edu.pl)

DOI: 10.15199/59.2022.4.51

**Streszczenie:** W artykule zaprezentowano zasady funkcjonowania modułu współpracy sieci dostępowych WLAN z serwerem MEC oraz pozostałymi komponentami ekosystemu, budowanego w ramach projektu SyMEC. Zaproponowana architektura pozwala na ujednoczenie dostępnej funkcjonalności oraz komunikację zewnętrznych aplikacji z podmodułami odpowiedzialnymi za zbieranie i przekazywanie informacji o sieci dostępowej. Jako przykładową aplikację zademonstrowano wizualizację szeregu parametrów sieci dostępowej WLAN.

**Abstract:** The paper presents specification and implementation details of the MEC server module providing integration with WLAN access networks, as well as its cooperation with other components of the ecosystem built as elements of SyMEC project. The proposed architecture allows to unify the available functionality and provides communication of edge applications with submodules responsible for collecting and disseminating information about the access network. As an example, the application demonstrating visualization of a number of important WLAN parameters was prepared.

**Słowa kluczowe:** serwery MEC, sieci dostępowe WLAN, moduł współpracy z MEC

**Keywords:** MEC server, WLAN access network, MEC integration module

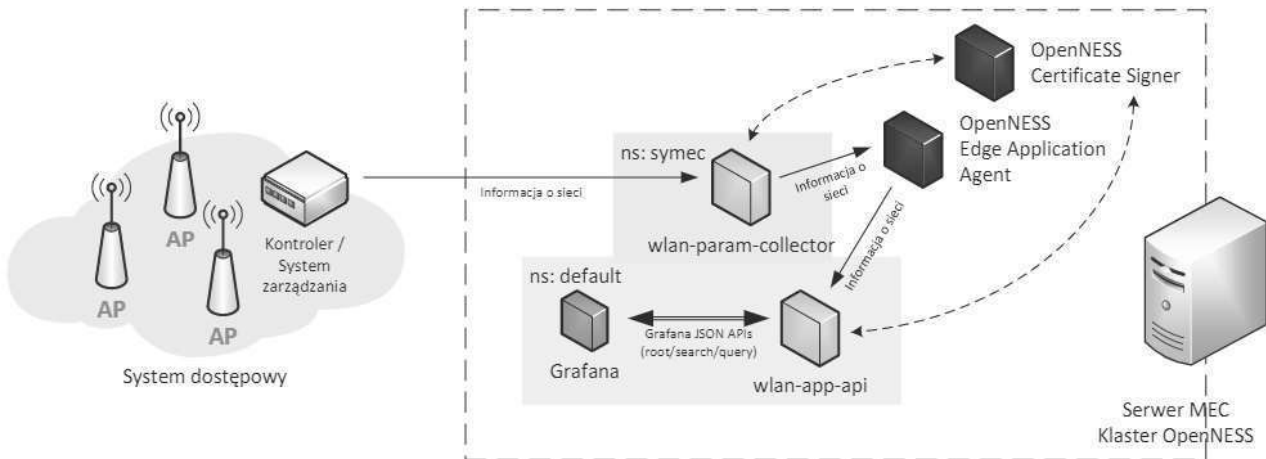
## 1. WSTĘP

Jedną z najważniejszych technik zapewniających zmniejszenie opóźnienia i ograniczenie ruchu w sieci szkieletowej staje się w ostatnim okresie Multi-access Edge Computing (MEC). Koncepcja ta związana jest z przenoszeniem części zasobów obliczeniowych i/lub aplikacji usługowych z chmury obliczeniowej, czyli z odległych centrów danych, na brzeg sieci, blisko punktów dostępu radiowego. Technika MEC pozwala tym samym na poprawę efektywności przetwarzania i świadczenia szeregu usług w środowisku chmurowym. Przeniesienie dotyczy przy tym głównie aplikacji wrażliwych na opóźnienia, bądź też aplikacji zasobochłonnych, jak np. aplikacje wymagające strumieniowania z odległych serwerów do wielu użytkowników jednej sieci dostępowej. Implementacja serwerów MEC wprowadza zatem wręcz rewolucję w zarządzaniu siecią [1].

Jako korzyści wynikające z zastosowania serwerów typu MEC w bezprzewodowych sieciach dostępowych wskazuje się możliwość odciążenia terminali mobilnych poprzez delegowanie złożonych zadań obliczeniowych i wyniesienia ich do ulokowanych stosunkowo niedaleko elementów chmury obliczeniowej [2,3]. Część z tych zadań może być specyficzna dla środowiska wdrożenia i dotyczyć np. optymalizacji przełączania w niejednorodnej, heterogenicznej sieci dostępowej [4], czy optymalizacji sposobu dostarczania treści w sieciach typu VANET [5].

Aby usystematyzować, zapewnić kompatybilność oraz możliwości wykorzystania nowej architektury poprzez implementowane aplikacje uruchamiane na brzegu sieci niezbędne jest opracowanie standaryzowanych interfejsów oraz powiązań pomiędzy blokami funkcjonalnymi całej architektury. W zakresie tym intensywne prace prowadzi ETSI, w ramach grupy roboczej ETSI MEC ISG która opracowała szereg dokumentów definiujących nowe usługi MEC dostępne dla aplikacji uruchamianych na brzegu sieci [6]. Jedną z takich usług jest dostarczanie informacji o aktualnym stanie sieci dostępowej WLAN [7]. Dokumenty standaryzujące precyzują sposób dostępu do tych informacji, ale sama kwestia implementacji komponentu, który będzie w stanie takie dane zbierać, gromadzić i przetwarzać pozostaje nadal otwarta. Pojawia się więc konieczność opracowanie modułów współpracy sieci dostępowych, z uwzględnieniem ich specyfiki, z ulokowanymi na brzegu sieci serwerami MEC. Taki właśnie komponent dedykowany do pracy z sieciami dostępowymi WLAN został zaprojektowany i zaimplementowany jako jeden z elementów architektury systemu SyMEC [8,9,10].

Istotną korzyścią zastosowania takiego modułu jest możliwość dostarczania szerokiego zestawu informacji opisujących aktualny stan sieci dostępowej, znacząco wykraczający poza zestaw danych dostępnych po stronie klienta. Wcześniejsze prace dotyczące realizacji usług transmisji głosowych oraz transmisji wideo [11,12,13,14,15], wskazywały na istotne korzyści wynikające z wykorzystania dodatkowych informacji o sieci dostępowej. Wprowadzenie ujednoczonych zasad ich dostarczania oraz sposobu współpracy komponentów



Rys. 1. Architektura modułu współpracy z sieciami WLAN

zbierających i przetwarzających te dane pozwoli na wykorzystanie wyników tych prac w szerszym kontekście np. w sieciach 5G.

W artykule, w kolejnych jego rozdziałach, przedstawiono architekturę i opis cech funkcjonalnych modułu współpracy serwera MEC z sieciami dostępowymi WLAN oraz przykładowe zasady monitoringu i wizualizacji mierzonych parametrów (aplikacja Grafana [16]) specyficznych dla sieci WLAN, a także związanych z wymaganiami poprawnej realizacji oferowanych przez serwer MEC aplikacji.

## 2. ARCHITEKTURA MODUŁU WSPÓŁPRACY Z SIECIAMI WLAN

W ramach przeprowadzonych prac zaprojektowano, zaimplementowano oraz przetestowano moduł odpowiedzialny za współpracę z sieciami dostępowymi klasy Wireless Local Area Network (WLAN). Moduł ten przeznaczony jest do uruchamiania w środowisku systemu SyMEC, wykorzystującego platformę OpenNESS [17]. Moduł oferuje możliwość odczytu wartości szeregu parametrów opisujących aktualne warunki pracy systemu dostępowego WLAN, a następnie udostępnienia ich aplikacjom uruchamianym w systemie SyMEC.

Architektura modułu została przedstawiona na Rys. 1 i obejmuje dwa rodzaje podmodułów:

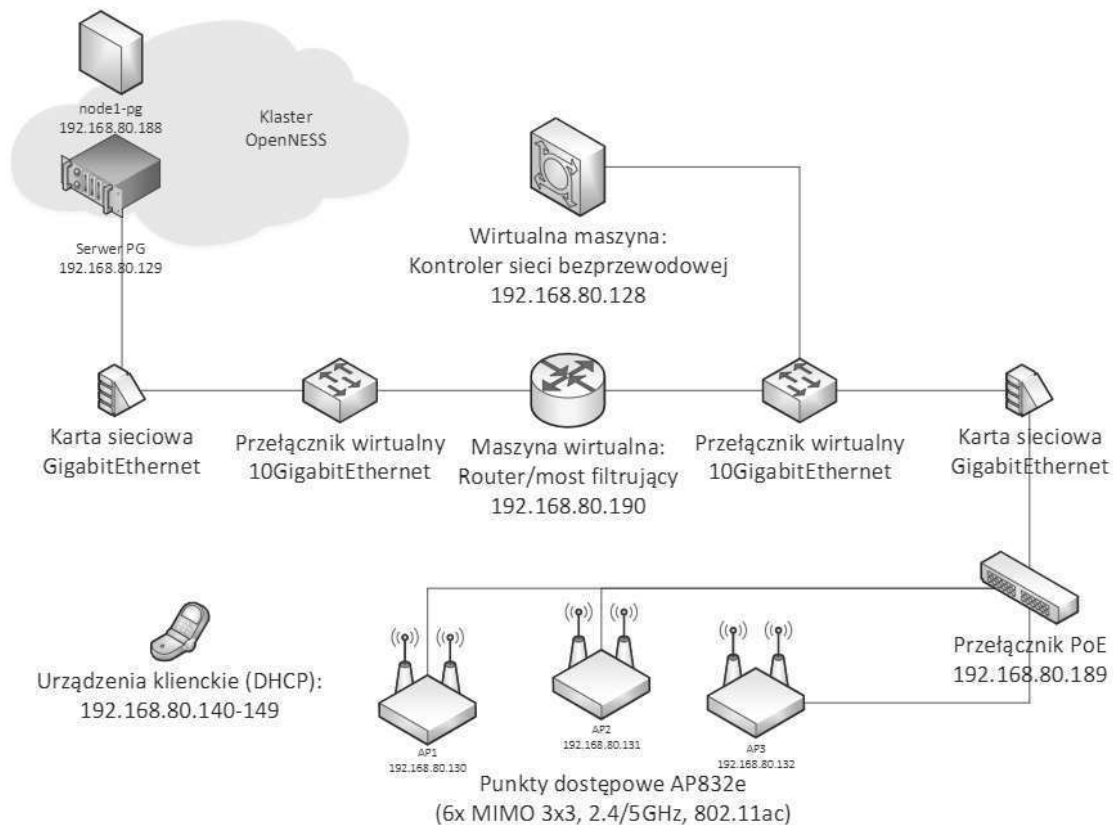
- podmoduł zbierający informacje (*wlan-param-collector*) – odpowiedzialny za komunikację z systemem zarządzania siecią dostępową i odczytywanie parametrów jej pracy,
- podmoduł udostępniający dane aplikacjom (*wlan-app-api*) – możliwe jest jednoczesne wykorzystanie wielu rodzajów podmodułów tego typu, w celu udostępnienia danych o stanie sieci WLAN w szeregu formatów i z użyciem różnorodnych interfejsów logicznych.

Powyższe podmoduły komunikują się przy wykorzystaniu komponentu Edge Application Agent (EAA), stanowiącego część platformy OpenNESS i działającego na zasadzie *publish-subscribe* [18]. Powyższe podejście pozwala na osiągnięcie skalowalności poziomej podmodułów udostępniania danych, gdyż ich liczba nie wpływa na obciążenie podmodułu zbierającego dane – publikuje on informacje jednokrotnie, a moduł EAA zajmuje się ich dostarczeniem do wszystkich zainteresowanych odbiorców.

Wykorzystanie modułu EAA wiąże się z koniecznością rejestracji w systemie OpenNESS wszystkich wykorzystujących go elementów (zarówno podmodułu zbierającego dane, jak i podmodułów udostępniania) oraz uzyskania przez nie cyfrowych certyfikatów w formacie x.509. Certyfikaty te są następnie wykorzystywane do uwierzytelniania podmodułów wobec modułu EAA oraz do kryptograficznej ochrony wymienianego z nim ruchu sieciowego.

Zaimplementowane moduły w pełni obsługują powyższe mechanizmy, wprowadzone w platformie OpenNESS od wersji 2020.12 w postaci Edge Application API i Edge Application Authentication API.

Zaimplementowany podmoduł zbierający informacje *wlan-param-collector* został zaprojektowany w sposób umożliwiający łatwe jego dostosowanie do współpracy z różnymi rodzajami sieci dostępowych, o ile dostęp do ich interfejsów zarządzania możliwy jest przy wykorzystaniu narzędzi linii poleceń (*command-line*), zwracających informacje w postaci tekstu. Rozwiązanie takie oferuje daleko posuniętą elastyczność, gdyż mechanizmy zarządzania nowoczesnymi systemami WLAN w przeważającej większości oferują narzędzia klienckie tego typu, niezależnie od logicznego interfejsu udostępnianego przez system zarządzania w przypadku konkretnej implementacji.



Rys. 2. Schemat systemu testowego

Prace implementacyjne dotyczące modułu współpracy z sieciami dostępowymi WLAN prowadzone były z wykorzystaniem środowiska weryfikacyjnego, umożliwiającego prowadzenie bieżącej kontroli poprawności funkcjonowania implementowanych mechanizmów. Środowisko to obejmowało część witalizowaną w postaci w

Środowisko wykorzystuje serwer wirtualizacyjny VMWare ESXi, służący do uruchomienia kontrolera sieci bezprzewodowej Fortinet MC3200-V oraz routera/mostu filtrującego. Za ich pośrednictwem podłączono fizyczną sieć dostępową złożoną z 3 punktów dostępowych AP832e, wyposażonych łącznie w 6 interfejsów radiowych 2.4/5 GHz, obsługujących komunikację z klientami bezprzewodowymi zgodnie ze standardem IEEE 802.11ac MIMO 3x3.

### 3. DEMONSTRATOR WSPÓLPACY Z APLIKACJĄ ZEWNĘTRZNĄ

Prezentowana implementacja podmodułu zbierającego informacje udostępnia dane dotyczące trzech grup wskaźników funkcjonowania systemu dostępowego:

- wskaźników dotyczących infrastruktury sieci dostępowej,
- wskaźników dotyczących urządzeń klienckich,
- wskaźników dotyczących otoczenia sieci dostępowej.

pełni funkcjonalnego, wielowęzłowego wdrożenia platformy OpenNESS kolejno w wersjach 2020.9, 2020.12 i 2021.3, a także fizyczną – system dostępowy WLAN, wykorzystujący urządzenia klasy korporacyjnej, firmy Fortinet. Ogólna architektura powyższego systemu dostępowego została przedstawiona na Rys. 2

Zaimplementowany podmoduł udostępniania danych aplikacjom (*wlan-app-api*), w przygotowanym demonstratorze, umożliwia dostęp do odczytanych informacji popularnej aplikacji Grafana, przeznaczonej do analizy i wizualizacji danych. Podmoduł rejestruje się jako odbiorca danych publikowanych przez podmoduł zbierający informacje, w wyniku czego okresowo otrzymuje aktualizacje wartości parametrów pracy sieci dostępowej. Informacje te przechowywane są przez konfigurowalny okres, umożliwiając podmodułowi analizę stanu sieci WLAN i jego zmian w powyższym okresie. Wyniki analizy udostępniane są aplikacji Grafana przy wykorzystaniu interfejsu HTTP-REST i formatu JSON, zgodnie ze specyfikacją Grafana JSON Root/Search/Query API. Przykładowy widok aplikacji demonstrującej wykorzystanie modułu został zaprezentowany na Rys. 3.

Wgląd do aktualnych danych opisujących sieć dostępową może być korzystny z punktu widzenia usług świadczonych w sieci, dla których informacje dostarczane przez standardowe narzędzia i sterowniki systemów operacyjnych mogą być niewystarczające aby oszacować aktualny stan sieci i potencjalną jakość usługi realizowaną przy jej pomocy. Jedną z niewielu informacji, dotyczącą sieci



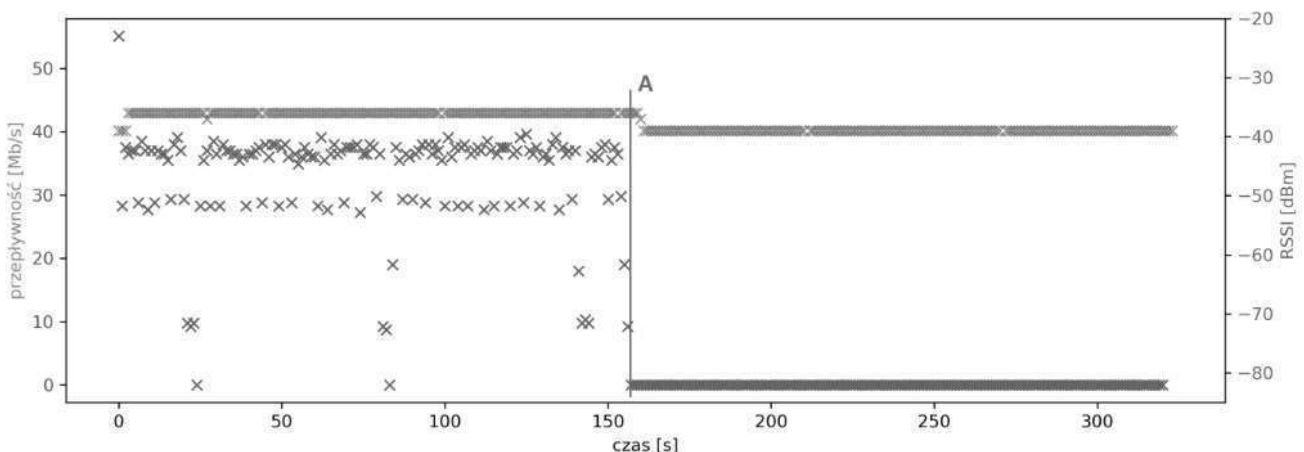
Rys. 3. Przykładowy wizualizacja danych z modułu współpracy z sieciami WLAN

WLAN, dostępną po stronie klienta jest wskaźnik RSSI. Wykres wartości tego parametru raportowanych przez interfejs bezprzewodowy pracujący pod kontrolą systemu operacyjnego Linux oraz przepływność testowego połączenia TCP zaprezentowano na Rys. 4.

W trakcie opisywanego testu włączono równolegle, na tym samym kanale, konkurencyjną transmisję wykorzystującą technikę TDMA (moment włączenia zaznaczono czerwoną linią oznaczoną jako A), co spowodowało, że mechanizmy unikania kolizji sieci Wi-Fi nie były w stanie dostosować się do koegzystencji z transmisją innego typu. Widoczna jest niewielka zmienność raportowanych wartości RSSI w zakresie 3 dB, która dla tego poziomu wartości RSSI (-36 dBm) nie wyjaśnia spadku przepływności analizowanego połączenia. Zastosowanie

dotodkowego modułu opisanego w tym artykule, dzięki możliwości analizy większej liczby parametrów, pozwala spojrzeć na całą sytuację z szerszej perspektywy (przykład takich informacji został zaprezentowany na Rys.5).

Wizualizacja danych dostarczanych z kontrolera sieci dostępowej Wi-Fi pozwala zidentyfikować niezgodne ze standardowymi sieciami Wi-Fi transmisje, które w tym przypadku będą wykrywane jako zwiększenie średniej wartości wskaźnika mocy szumów występujących w kanale (*Channel noise*). Interpretacja dodatkowych danych pozwala na identyfikację problemu i wyjaśnienie przyczyny spadku przepływności obserwowanych dla testowego połączenia TCP.



Rys. 4. Średnia wartość przepływności testowego połączenia TCP (kolor zielony, oś lewa) oraz wartości parametru RSSI (kolor niebieski, oś prawa).



Rys. 5. Wizualizacja parametru channel noise pokazująca powód spadku przepływności połączenia testowego

#### 4. PODSUMOWANIE

W artykule zaprezentowano sposób integracji systemu MEC z bezprzewodową siecią dostępową WLAN. Jednocześnie opisano architekturę tego modułu i sposoby integracji z innymi komponentami systemu SyMEC. Wskazane zostały korzyści wynikające z takiego wdrożenia pozwalające na przekazywanie szczegółowych informacji o stanie sieci dostępowej elementom aplikacyjnym realizującym usługi, a ulokowanym na brzegu sieci. Wdrożenie zostało zrealizowane w ogólnopolskiej sieci badawczej PL-LAB i może być wykorzystane w dalszych pracach realizowanych w tym środowisku.

Badania, których wyniki są przedstawione w tym artykule, były prowadzone w ramach projektu POIR 04.01.02.00-00-0107/17.pt. „System MEC dla wspierania zaawansowanych aplikacji w środowisku sieci przewodowych i bezprzewodowych 3G/4G/5G”, współfinansowanego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój na lata 2014-2020.

#### LITERATURA

- [1] *Tendencje w rozwoju polskiej i światowej telekomunikacji i teleinformatyki.* (Red. J. Woźniak), Wydawnictwo WAT, 2020.
- [2] Y. Li, G. Xu, J. Ge, X. Fu and P. Liu, "Communication and Computation Cooperation in Wireless Network for Mobile Edge Computing," in *IEEE Access*, vol. 7, s.106260-106274, 2019
- [3] J. Saeid i in.: Mobility-Aware Offloading Decision for Multi-Access Edge Computing in 5G Networks, *Sensors* 22, nr 7: 2692, 2022
- [4] T. M. Ho i. in.: Joint Server Selection, Cooperative Offloading and Handover in Multi-Access Edge Computing Wireless Network: A Deep Reinforcement Learning Approach, in *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 21, nr 7, s. 2421-2435, 2022
- [5] J. Al-Badarneh i in.: Cooperative mobile edge computing system for VANET-based software-defined content delivery, *Computers Electrical Engineering*, t. 71. s. 388-397., 2018
- [6] ETSI GS MEC 003: Multi-access Edge Computing; Framework and Reference Architecture, 2022
- [7] ETSI GS MEC 028: Multi-access Edge Computing (MEC); WLAN Information API, 2020
- [8] A. Bęben, W. Burakowski, B. Belter, D. Parniewicz: Architektura systemu MEC dla wspierania zaawansowanych aplikacji w środowisku sieci przewodowych i bezprzewodowych 3G/4G/5G. *Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne*, 2020, Nr 7-8, s.144-148
- [9] Strona internetowa projektu SyMEC symec.com.pl (dostępna 06.06.2022)
- [10] M. Hoeft, i in.: Moduł platformy SyMEC odpowiedzialny za współpracę serwera MEC z sieciami komórkowymi i bezprzewodowymi sieciami dostępowymi WLAN. *Przegląd Telekomunikacyjny+Wiadomości Telekomunikacyjne*, 2020, Nr 7-8, s.149-154.
- [11] A. Kostuch, K. Gierłowski, J. Woźniak: Performance analysis of multicast video streaming in IEEE 802.11 b/g/n testbed environment. *IFIP WMNC*, 2009, Springer, Berlin, s. 92-105
- [12] K. Gierłowski, A. Kostuch, J. Woźniak, K. Nowicki: Testbed analysis of video and VoIP transmission performance in IEEE 802.11 b/g/n networks. *Telecommunication Systems*, 2011, Vol.48/3, s. 247-260
- [13] M. Hoeft, i in.: Measurements of QoS/QoE parameters for media streaming in a PMIPv6 testbed with 802.11 b/g/n WLANs. *Metrology and Measurement Systems*, 2012, Vol.18/2, s. 283-294
- [14] W. U. Rahman, C. S. Hong and E. Huh, "Edge Computing Assisted Joint Quality Adaptation for Mobile Video Streaming," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 129082-129094, 2019
- [15] M. Maghsoud., J. Noll. 2021. "Estimating PQoS of Video Streaming on Wi-Fi Networks Using Machine Learning" *Sensors* 21, no. 2: 62
- [16] Grafana: The open observability platform: <https://grafana.com/> (dostępna 06.06.2022)
- [17] OpenNESS - Open Network Edge Services Software: <https://www.openness.org/> (dostępna 06.06.2022)
- [18] Dokumentacja modułu Edge Application Agent: <https://github.com/smart-edge-open/specs/blob/master/doc/applications-onboard/smartedge-open-eaa.md> (dostępna 06.06.2022)