

# Politechnika Gdańska z prywatną siecią 5G i zespołem specjalizowanych laboratoriów badawczych

## Część II: Opis wyposażenia laboratoriów, oferowanych usług oraz zasad ich udostępniania

Józef Woźniak  
Krzysztof Gierłowski  
Michał Hoefl  
Wojciech Gumiński  
Krzysztof Nowicki  
Jacek Rak  
Jarosław Sadowski  
Piotr Rajchowski  
Sławomir Gajewski

Wydział Elektroniki,  
Telekomunikacji  
i Informatyki

Ogólne założenia projektu PL-5G: „Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem”, złożony proces uzyskania jego finansowania, jak również wybrane cechy funkcjonalne sieci piątej generacji (5G) zostały zaprezentowane w „Piśmie PG” nr 3/2024. W II części artykułu przedstawiono infrastrukturę badawczą zaprojektowaną i zrealizowaną przez zespół wykonawców z WETI PG, a także wybrane usługi i możliwości oferowane przez poszczególne laboratoria.

**W**niezwykle dynamicznie rozwijającym się sektorze ICT (*Information and Communications Technology*) grupa technik komunikacyjnych wykorzystywanych w systemach określanych potocznie jako „sieci komórkowe” (standaryzowanych przez organizację 3rd Generation Partnership Project – 3GPP) pozostawała dotychczas trudnym obiektem badań praktycznych, zarówno dla środowisk akademickich, jak i instytutów badawczych, ze względu na wielość wykorzystywanych mechanizmów i związany z tym wysoki koszt niezbędnych urządzeń. Realizacja projektu PL-5G miała więc na celu wzbogacenie infrastruktury badawczej dostępnej polskim uczelniom w tym zakresie. Jak opisano w części I artykułu, infrastruktura badawcza zbudowana w ramach projektu PL-5G została podzielona na trzy podstawowe, powiązane ze sobą grupy:

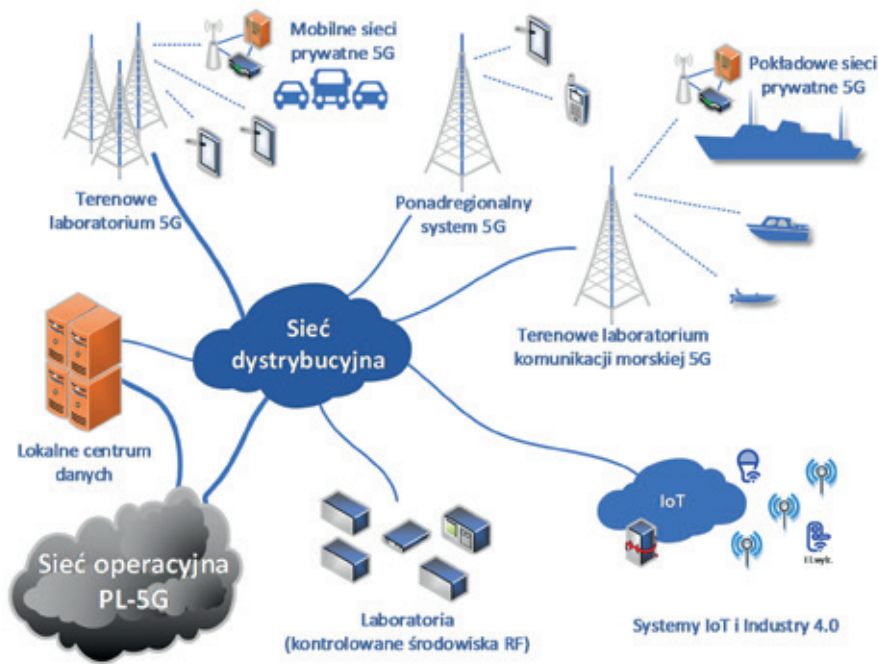
- Laboratorium sieci 5G – utworzone na bazie rozwiązań producentów technologii 5G (beziprowodowe i przewodowe sieci dostępne, brzegowa chmura obliczeniowa, sieć szkieletowa oraz centralna chmura obliczeniowa) wraz z otwartymi interfejsami programowymi;
- Laboratorium symulatorów i aparatury pomiarowej 5G – zawierające symulatory i emulatory technologii 5G, generatory ruchu oraz aparaturę pomiarową przeznaczoną do badań związanych z siecią 5G;

- Laboratorium otoczenia 5G – zawierające urządzenia i oprogramowanie dla tworzenia rozwiązań sieciowych, platform i aplikacji bazujących na technologii 5G (między innymi do integracji z różnorodnymi komponentami Internetu Rzeczy).

Pod względem organizacyjnym w ramach utworzonego krajowego laboratorium PL-5G wyróżnia się przy tym dwa rodzaje systemów badawczych:

- międzyregionalną sieć 5G, łączącą realizujące projekt ośrodki akademickie oraz centra badawcze i tym samym wspólną dla wszystkich partnerów projektu i wszystkich lokalizacji;
- lokalne sieci 5G, zainstalowane w poszczególnych ośrodkach (przy czym w przypadku Politechniki Gdańskiej są to zarówno instalacje stałe, jak i systemy instalowane doraźnie, w miarę potrzeb, w wybranych lokalizacjach).

Intencją realizatorów jest, aby sieć międzyregionalna była siecią stabilną i zbudowaną z użyciem podobnej klasy urządzeń jak te wykorzystywane w dużych sieciach operatorskich (w przypadku PL-5G są to rozwiązania firmy Nokia). Zadaniem sieci lokalnych jest umożliwienie przeprowadzania eksperymentów badawczych i testowanie nowych rozwiązań. Częściowo narzuca to bazowanie przez te sieci w znacznym stopniu na rozwiązaniach przeznaczonych dla sieci prywatnych, oferujących większą elastycz-



Rys. 1. Poglądowa ilustracja infrastruktury badawczej PL-5G Politechniki Gdańskiej

ność i możliwości dostosowania do wybranego przypadku wykorzystania.

Poglądową ilustrację instalacji Politechniki Gdańskiej pokazano na rys. 1. Szczegółowy opis tej instalacji, jej głównych komponentów sprzętowo-programowych, a także przykładowe zestawy oferowanych usług zaprezentowano w dalszej części niniejszego artykułu.

### Opis instalacji

Laboratoria PL-5G zlokalizowane na Politechnice Gdańskiej dysponują infrastrukturą LTE i 5G

(tak laboratoryjną, jak i możliwą do wdrożenia i wykorzystania w warunkach terenowych) przeznaczoną do zróżnicowanych badań zarówno samej techniki 5G, jak i jej specyficznych zastosowań w wielu przykładowych środowiskach (IoT, Przemysł 4.0 czy w szczególności komunikacja między pojazdami pływającymi). Infrastruktura ta wykorzystuje głównie częstotliwości w paśmie n77 (w przypadku pasm pozyskanych przez PG jest to zakres częstotliwości 3,9–4,0 GHz), wspomagane wykorzystaniem pasma B40 (częstotliwości 2,3–2,4 GHz), i uzupełniona jest szeregiem urządzeń klienckich, pomiarowych i kontrolnych przeznaczonych dla zróżnicowanych środowisk radiowych (por. fot. 1 i fot. 2).

Laboratorium obejmuje zarówno węzeł ogólnokrajowej sieci międzyregionalnej, jak i systemy przeznaczone do realizacji specyficznych dla naszej lokalizacji zadań badawczych, także w zamkniętych – izolowanych od otoczenia środowiskach, tak jak to przedstawiono na fot. 1. Część laboratoryjna zbudowanej infrastruktury obejmuje lokalne centrum danych oraz urządzenia radiowe umieszczone w kontrolowanych środowiskach propagacyjnych. W połączeniu z emulatorami urządzeń klienckich oraz urządzeniami pomiarowymi takie rozwiązanie umożliwia realizację bardzo szerokiego spektrum prac badawczych dotyczących mechanizmów i protokołów systemu 5G. Politechnika Gdańska wdrożyła też systemy terenowe, w tym sieć dostępową 5G NR o wielokrotnym pokryciu oraz system przeznaczony do badań dotyczących zastosowania rozwiązań 5G w środowisku morskim.

Ośrodki partnerskie połączone są międzyregionalną siecią operacyjną krajowego laboratorium. Do tego celu wykorzystywano ogólnopolską sieć światłowodową PIONIER. Łączy ona ośrodki w kraju i umożliwia podłączanie lokalnych sieci regionalnych za pośrednictwem miejskich sieci akademickich. Węzły sieci operacyjnej komunikują się przez sieć PIONIER, wykorzystując routery operacyjne oraz dedykowane łącza światłowodowe. Przełączniki zapewniają komunikację pomiędzy wirtualnymi zasobami obliczeniowymi i dostęp do pamięci masowych.

Jak wspomniano wcześniej, zakupiona aparatura oraz oprogramowanie zostały logicznie pogrupowane w trzy laboratoria:

- Laboratorium sieci 5G;
- Laboratorium symulatorów i aparatury pomiarowej 5G;
- Laboratorium otoczenia 5G.



Fot. 1. Dr inż. Krzysztof Gierłowski przedstawia możliwości badań systemów RAN w zamkniętym środowisku propagacyjnym, jakim jest specjalizowany, ekranowany namiot

Fot. Krzysztof Krzempek



Fot. 2. Dr inż. Krzysztof Gierłowski prezentuje umieszczony w tzw. shieldboksie kompletny system 5G umożliwiający zdalną realizację eksperymentów. Na szafach, powyżej shieldboksa, widoczne są dwa autonomiczne pojazdy pływające (z floty pięciu jednostek) przeznaczone do specjalistycznych badań na akwenach wodnych

Fot. Krzysztof Krzempek

W Laboratorium sieci 5G udostępnione zostały różnorodne pod względem pojemności, sposobu realizacji, otwartości czy skali instalacje dostępne sieci 5G (przykładowe elementy instalacji zaprezentowano na fot. 3), w tym rozwiązania 5G NR (5G New Radio) oraz non-3GPP, obejmujące m.in. sieć ponadregionalną z aparaturą klasy operatorskiej, niewielkie, zintegrowane z rdzeniem i warstwą usługową systemu wewnątrzbudynkowe, rozwiązania przeznaczone dla sieci prywatnych i operatorów lokalnych oraz rozwiązania klasy Open-RAN wprowadzające daleko idącą dekompozycję funkcjonalną systemu dostępowego. Te zróżnicowane systemy dostępne mogą zostać podłączone do różnorodnych rdzeni 5G, w tym rdzeni klasy

operatorskiej, rdzeni przeznaczonych do sieci prywatnych, a także takich o przeznaczeniu badawczym – z dostępem do kodu źródłowego. Rdzeń sieci 5G uzupełniony jest warstwą usługową realizującą usługi głosowe, wideo i wymiany wiadomości. Podstawę wykorzystywaną do uruchamiania opisanych powyżej elementów systemu 5G stanowi centrum danych działające pod kontrolą systemu VMware i oferujące infrastrukturę wykorzystywaną do wirtualizacji, obliczeń czy dynamicznej konfiguracji sieci.

W Laboratorium symulatorów i aparatury pomiarowej 5G zakupiono i zainstalowano specjalizowaną aparaturę (przykładowe stanowiska pomiarowe na fot. 4) pozwalającą na weryfikację wewnętrznych mechanizmów systemów sieci 5G na poziomie radiowym, sygnalizacji czy też symulowanych/emulowanych komponentów systemu 5G. Istotnymi elementami laboratorium są w szczególności:

- ośmioportowy emulator kanału pracujący w całym paśmie FR1 przewidzianym dla 5G, pozwalający na wytwarzanie w kontrolowanych warunkach efektów propagacji wielodrogowej występujących w rzeczywistych środowiskach propagacji fal radiowych, z obsługą emisji wieloantenowej (MIMO);
- analizator widma z obsługą pasm FR1 i FR2 (do 32 GHz) i wbudowanymi funkcjami analizy i pomiarów parametrów sygnałów sieci komórkowych 4G i 5G oraz funkcją analizatora czasu rzeczywistego i funkcją pomiarów poziomu promieniowania;
- skaner radiowy pasma 5G FR1 i FR2;
- emulatory klientów LTE/5G pozwalające na jednoczesne utworzenie blisko 200 emulowanych urządzeń klienckich o zróżnicowanych parametrach;
- system weryfikacji zgodności (compliance) wybranych elementów systemu 5G ze zdefiniowanymi normami i standardami.

Aparatura pomiarowa została uzupełniona oprogramowaniem pozwalającym na emulację i symulację funkcjonowania komponentów systemów 5G oraz rozbudowanych narzędzi pozwalających na analizę bezpieczeństwa, symulowanie/emulowanie ataków, wprowadzenie odpowiednich mechanizmów zabezpieczenia specyficznych dla sieci 5G.

W Laboratorium otoczenia 5G udostępniona została aparatura badawcza pozwalająca na weryfikację przypadków wykorzystania systemów i sieci 5G w różnorodnych scenariuszach ich pracy. W szczególności w laboratorium Politech-



Fot. 3. Terenowy punkt instalacyjny – głowica radiowa 5G MIMO 2x2 z anteną obsługującą obszar południa Zatoki Gdańskiej oraz brama sieci LoRaWAN (po lewej); głowica radiowa 5G MIMO 4x4 oraz antena przeznaczona do pracy w paśmie n77 (po prawej)

Fot. Krzysztof Gierłowski

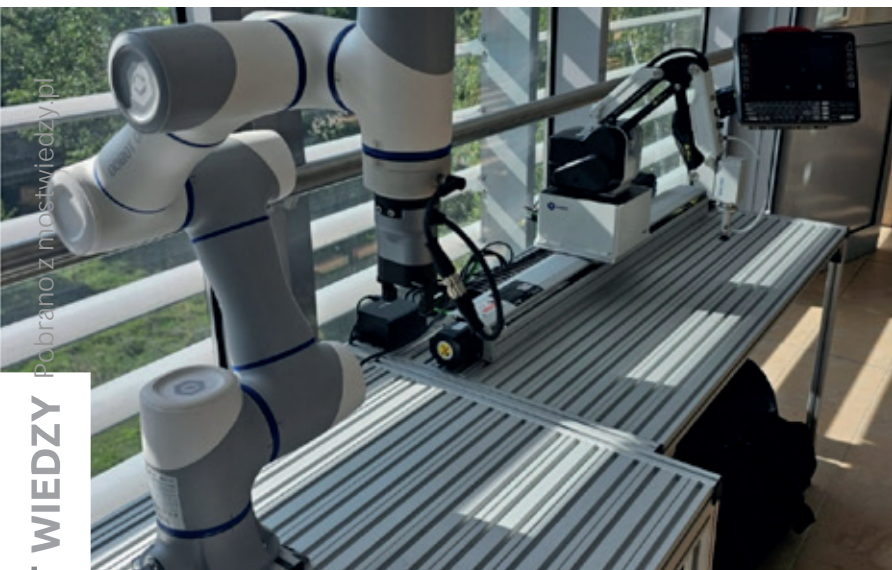


Fot. 4. Prezentacja stanowisk pomiarowych PL-5G  
Fot. Krzysztof Krzempek

niki Gdańskiej dostępne są elementy systemów Internetu Rzeczy w postaci np. różnorodnych czujników czy elementów wykonawczych, stacji bazowych systemów IoT (np. LoRaWAN, Zig-Bee, NB-IoT, CAT-M, 5G), komputerów przemysłowych i zestawów rozwojowych, a także systemy Przemysłu 4.0 oferujące dedykowane dla rozwiązań przemysłowych systemy komunikacji (IWLAN), czujniki i zestawy sterowania wejść/wyjść klasy przemysłowej, pojazdy sterowane z czujnikami czy zestaw robotów kolaboracyjnych (por. fot. 5 i fot. 6).

Istotnym komponentem laboratorium jest platforma pływająca i zestaw autonomicznych pojazdów pływających pozwalających na realizację badań nad systemami komunikacji na potrzeby autonomicznych jednostek pływających czy zestawy czujników i systemów łączności na potrzeby monitorowania środowiska morskiego.

Dodajmy jeszcze, że zainteresowania badawcze pracowników laboratorium związane są



Fot. 5. Kolaboracyjne roboty przemysłowe i laboratoryjne przystosowane do wykorzystania komunikacji 5G  
Fot. Krzysztof Gierlowski

## ◆ NAUKA, BADANIA, INNOWACJE

z badaniem i rozwijaniem technologii piątej, a także kolejnych generacji – co stwarza szerokie pole do współpracy badawczej związanej z rozwojem rozwiązań 5G/6G oraz ich zastosowań. Możliwość wykorzystania przygotowanej infrastruktury w badaniach sieci prywatnych, ze względu na kompatybilność znacznej części wyposażenia laboratorium PL-5G na PG z architekturą takich sieci, otwiera nowe obszary współpracy z zespołami naukowców z PG oraz innych ośrodków, a także z zainteresowanymi firmami sektora ICT.

### Zasady korzystania z laboratorium PL-5G

Laboratoria PL-5G są dostępne dla szerokiego grona użytkowników końcowych. Z infrastruktury badawczej mogą korzystać zarówno naukowcy, reprezentanci przedsiębiorstw (w tym przedstawiciele małych i średnich przedsiębiorstw – MŚP), jak również użytkownicy indywidualni. Podmiotem udostępniającym infrastrukturę badawczą będzie każdorazowo członek Konsorcjum PL-5G, umożliwiający dostęp do laboratoriów. Korzystanie z infrastruktury badawczej laboratoriów w ramach projektu będzie odbywać się zgodnie z powszechnie obowiązującymi przepisami prawa oraz postanowieniami umowy zawartej z użytkownikiem końcowym.

Dostęp dla użytkowników końcowych do zasobów infrastruktury badawczej do prowadzenia prac badawczych lub rozwojowych przewiduje się w dwóch trybach:

- tryb niegospodarczy – użytkownicy uprawnieni do prowadzenia badań w trybie niegospodarczym to przede wszystkim pracownicy jednostek naukowych, prowadzący prace badawcze związane ze statusem swojej jednostki macierzystej;
- tryb gospodarczy – wykorzystywany w przypadku udostępnienia zasobów i usług infrastruktury na rzecz przedsiębiorców oraz pracowników jednostek naukowych prowadzących badania na rzecz przedsiębiorców.

Korzystanie z zasobów PL-5G będzie realizowane z użyciem systemu zarządzania eksperymentami. Pozwala on w łatwy sposób kontrolować proces realizacji eksperymentów prowadzonych przez użytkowników w rozproszonej infrastrukturze laboratorium oraz monitorować funkcjonowanie elementów tej infrastruktury.



Fot. 6. Przykładowe pojazdy autonomiczne i sterowane na wyposażeniu Laboratorium otoczenia 5G: drony pływające, dron lądowy o dużym udźwigu wyposażony w lidar wielowiązkowy

Fot. Michał Hoefl

### Zakończenie

Projekt PL-5G – „Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem” – pozwolił na istotne wzbogacenie aparatury badawczej dostępnej na Politechnice Gdańskiej. Dzięki zaangażowaniu szeregu osób (w tym wielu osób spoza ścisłego grona realizatorów projektu, za co wszystkim serdecznie dziękujemy) udało się zaprojektować i zrealizować wszystkie zaplanowane prace, w efekcie czego otrzymaliśmy możliwość prowadzenia prac badawczych i rozwojowych dotyczących zaawansowanych systemów i sieci 5G, a także sieci kolejnych generacji. Zespoły badawcze, w tym przedsiębiorstwa, zainteresowane wykorzystaniem opisanej w tym artykule aparatury na potrzeby realizacji eksperymentów czy opracowania demonstratorów lub też zainteresowane prowadzeniem wspólnych przedsięwzięć badawczych, zapraszamy do kontaktu. Więcej szczegółów na temat wyposażenia i możliwości wykorzystania laboratorium można znaleźć pod adresem <https://link.pg.edu.pl/pl5g>.

### Podziękowania

W realizację projektu, poza jego bezpośrednimi wykonawcami – pracownikami Katedr Teleinformatyki oraz Systemów i Sieci Radiokomunikacyjnych WETI PG – zaangażowanych było kilkadziesiąt osób zarówno z jednostek centralnych PG (rektorzy, kanclerze, kwestorzy, pracownicy Centrum Zarządzania Projektami, prawnicy z Działu Radców Prawnych), jak i wydziałowych, w tym władze WETI, a w szczególności sposób pracownicy Sekcji Finansowo-Księgowej, Sekcji Zamówień Publicznych oraz Administracji WETI PG.

Wszystkim tym osobom wyrażamy serdeczne podziękowanie za ogromne wsparcie i życzliwość na wszystkich etapach realizacji projektu.

■ [jozwozni@pg.edu.pl](mailto:jozwozni@pg.edu.pl)

*Paulina Gomułka-Wójtowicz*

Excento sp. z o.o

## Pierwszy taki system certyfikacji żywności funkcjonalnej

F-FOOD to nowy system certyfikowania żywności funkcjonalnej, czyli takiej, która ma korzystny wpływ na organizm człowieka i szczególną wartość odżywczą. To pierwszy taki system w Polsce i Europie, a Politechnika Gdańska wraz z sześcioma jednostkami naukowymi z całej Polski jest jego kluczowym elementem.

**Z**żywność funkcjonalna to produkty spożywcze, które oprócz podstawowych wartości odżywczych dostarczają dodatkowych korzyści zdrowotnych. Są one wzbogacone o składniki aktywne, takie jak witaminy, składniki mineralne, błonnik pokarmowy, wielonienasycone kwasy tłuszczowe, probiotyki, prebiotyki, aminokwasy, peptydy czy antyoksydanty, które wspomagają zdrowie i mogą przyczynić się do zmniejszenia ryzyka wystąpienia chorób cywilizacyjnych.

Obecnie w Unii Europejskiej nie istnieje prawna definicja żywności funkcjonalnej. Nie wprowadzono też kompleksowego systemu promocji żywności funkcjonalnej, a jedynie skupiono się na regulacjach prawnych dotyczących prezentacji składników bioaktywnych o szczególnych właściwościach odżywczych.

Celem systemu F-FOOD jest podniesienie jakości żywności dostępnej na rynku, promowanie zdrowego stylu życia oraz wprowadzenie diety spersonalizowanej. To także informacja dla konsumentów, którzy dzięki oznaczeniom będą mogli wybierać produkty przynoszące korzyści zdrowotne.

System powstał z inicjatywy 7 polskich uczelni i instytutów badawczych: Uniwersytetu Medycz-