

Wojciech BURAKOWSKI¹, Andrzej BĘBEN¹, Maciej SOSNOWSKI¹, Dariusz WIĘCEK²,
Igor MICHALSKI², Józef WOŹNIAK³, Krzysztof GIERŁOWSKI³, Michał HOEFT³,
Patrik SCHAUER⁴, Arkadiusz WARZYŃSKI⁴, Marek NATKANIEC⁵, Piotr BORYŁO⁵,
Artur BINCZEWSKI⁶, Bartosz BELTER⁶, Maksymilian FURMANN⁶

Planowane krajowe laboratorium badawcze sieci i usług 5G wraz z otoczeniem

5G national laboratory concept: 5g networks, services, measurement tools and applications



Przedstawiono koncepcję infrastruktury PL-5G pt. *Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem*. Laboratorium to będzie ważną infrastrukturą badawczą w kraju, która powinna w istotny sposób przyczynić się do ukierunkowania praktycznych badań dotyczących nowych generacji dla infrastruktur sieciowo-obliczeniowych Internetu. Laboratorium to będzie zlokalizowane w czterech miastach, tj. w Gdańsku, Krakowie, Poznaniu i Wrocławiu i będzie miało wspólny system sterowania eksperymentami. Korzystanie z laboratorium będzie zdalne, co umożliwi zespołom krajowym z innych lokalizacji efektywne korzystanie z jego zasobów. Przewiduje się, że będzie również wykorzystywane w procesie dydaktycznym realizowanym przez uczelnie techniczne. Termin zakończenia budowy laboratorium przewiduje się na koniec 2023 r.



Słowa kluczowe: laboratorium sieci i usług 5G, zasady korzystania, struktura laboratorium, system zarządzania eksperymentami



The paper describes concept of PL-5G infrastructure entitled: *National laboratory of 5G networks and services jointly with measurement tools and applications*. The laboratory will be important element for improving research on new generation infrastructure for the Internet. It will be located in 4 cities, i.e. in Gdańsk, Kraków, Poznań and Wrocław. Common control system will manage all running experiments. Access to the laboratory will be remote to allow all researchers from Poland for effective usage of resources. The laboratory will be also usable for improving didactic process in technical universities. The laboratory will be open at the end of 2023.

Key words: 5G laboratory, access rules, structure of laboratory, control system for managing experiments

DOI: 10.15199/59.2022.4.3

Artykuł podsumowuje pierwszą połowę realizacji projektu POIR pt. *PL-5G: Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem*. Celem projektu jest udostępnienie zespołom badawczym oraz przemysłowi w pełni wyposażonego laboratorium, umożliwiającego prowadzenie badań praktycznych dotyczących techniki 5G. Technika 5G jest ważnym krokiem w kierunku unowocześnienia infrastruktury sieciowo-obliczeniowej w sieciach operatorów.

W artykule przedstawiono opracowaną w ramach realizacji projektu wizję takiego laboratorium, które powinno zacząć funkcjonować pod koniec 2023 roku. Dotychczas, tj. na koniec czerwca 2022 r., zdefiniowano jego topologię oraz wyposażenie, które będzie sukcesywnie kupowane z uwzględnieniem sformalizowanych procedur przetargowych.

Istotne pytanie, na które należało odpowiedzieć przed złożeniem wniosku, brzmiało: po co nam taki projekt w kraju? W końcu zespoły krajowe mogły uczestniczyć w projektach europejskich dotyczących techniki 5G i tam zdobyć odpowiednie doświadczenie, by wykorzystać je do rozpowszechnienia wiedzy w kraju. Również zespoły krajowe mogły korzystać ze zbudowanych już laboratoriów sieci 5G w innych krajach europejskich. Niestety, udział tych zespołów w specyfikacji techniki

5G był mniej niż skromny. Wynikało to głównie z trzech przyczyn: (1) decydującą rolę w specyfikacji zakresu tematycznego projektów europejskich miał przemysł europejski, a więc firmy takie, jak Telefonica, Nokia, Ericsson, France Telecom itd.; (2) dobór zespołów badawczych do realizacji danego projektu był ukierunkowany przez przedstawicieli przemysłu; (3) składane wnioski projektowe kierowane przez zespoły krajowe zazwyczaj nie uzyskiwały dostatecznie wystarczających ocen, czego efektem był brak finansowania. Ostatecznie w kraju nie było wystarczającej wiedzy dotyczącej techniki 5G i tym bardziej możliwości prowadzenia badań praktycznych związanych z tą techniką, w tym efektywnego włączenia tematyki techniki 5G do procesu dydaktycznego na uczelniach technicznych. Jednocześnie technika 5G jest techniką na tyle zestandaryzowaną, że wiele firm już jakiś czas temu zaczęło oferować kupno sprzętu i oprogramowania 5G, a operatorzy telekomunikacyjni zaczęli unowocześniać swoje sieci o te elementy. W efekcie obecnie istnieje wiele firm działających na terenie kraju, które oferują, głównie operatorom, swoje rozwiązania 5G.

Konsorcjantami projektu POIR *PL-5G: Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem* są: (1) Politechnika Warszaw-

¹ Politechnika Warszawska {wojtek, abeben, m.sosnowski}@tele.pw.edu.pl,

² Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, Wrocław {d.wiecek, i.michalski}@il-pib.pl

³ Politechnika Gdańska, jowoz@eti.pg.edu.pl, kg@kg.gda.pl, michal.hoeft@pg.edu.pl,

⁴ Politechnika Wrocławska {patrik.schauer, arkadiusz.warzyński}@pwr.edu.pl,

⁵ Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie {natkanie, piotr.borylo}@agh.edu.pl,

⁶ Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe {artur, bartosz.belter, mfirmann}@man.poznan.pl.

ska – lider; (2) Instytut Łączności – Państwowy Instytut Badawczy, (3) Politechnika Gdańska, (4) Politechnika Wrocławska, (5) Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie oraz (6) Instytut Chemii Bioorganicznej PAN Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe. Powyższe organizacje już od blisko dekady wspólnie realizują ważne projekty krajowe, m.in. ostatnio projekt PL-LAB2020. Obecny projekt jest wymieniony w mapie krajowych strategicznych infrastruktur badawczych i jest przewidziany do realizacji na lata 2021–2023. Budżet projektu to ok. 200 mln złotych.

W rozdziale następnym zostanie przedstawiona krótka charakterystyka laboratorium, obejmująca architekturę sieci międzyregionalnej, sieci w poszczególnych lokalizacjach, sieć operacyjną oraz przewidywane do wykorzystania częstotliwości. W kolejnym zostaną pokrótce opisane wstępne zasady korzystania z laboratorium, przedostatni rozdział jest poświęcony omówieniu systemu zarządzania eksperymentami, ostatni zaś jest podsumowaniem artykułu.

CHARAKTERYSTYKA LABORATORIUM

Zaprojektowana infrastruktura badawcza jest zgodna z architekturą sieci 5G i będzie się składać z trzech powiązanych laboratoriów.

1. Laboratorium sieci 5G będzie zbudowane na podstawie rozwiązań producentów technologii 5G (bezprzewodowe i przewodowe sieci dostępowe, brzegowa chmura obliczeniowa, sieć szkieletowa oraz centralna chmura obliczeniowa) wraz z otwartymi interfejsami programowymi.

2. Laboratorium symulatorów i aparatury pomiarowej 5G będzie zawierać symulatory technologii 5G oraz aparaturę pomiarową związaną z rozwojem i utrzymaniem sieci 5G.

3. Laboratorium otoczenia 5G będzie zawierać urządzenia i oprogramowanie dla tworzenia rozwiązań sieciowych, platform i aplikacji opartych na technologii 5G (między innymi integracja z technologiami Internetu Rzeczy).

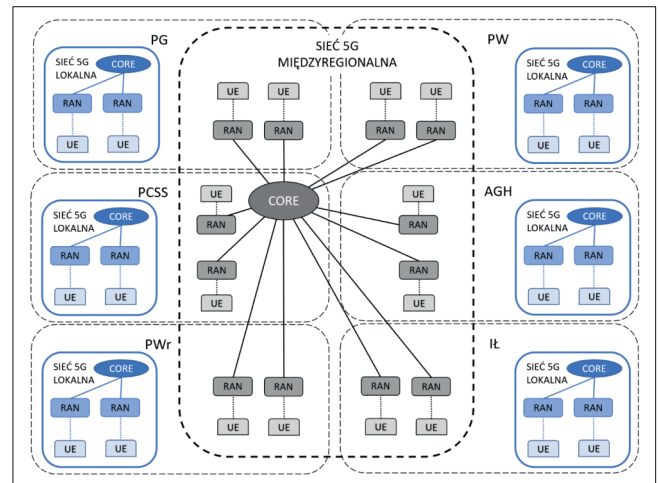
Infrastruktura PL-5G umożliwi prowadzenie badań zarówno w pojedynczym laboratorium, jak również w całym rozproszonym ekosystemie. Będzie to możliwe dzięki opracowaniu i wdrożeniu systemu zarządzania i monitorowania infrastruktury 5G w zakresie zarządzania zasobami, zarządzania eksperymentami i badaniami oraz zarządzania dostępem użytkowników. W szczególności zostanie zapewniona możliwość integracji z podobnymi laboratoriami w innych krajach UE.

Cele badawcze projektu zostały szczegółowo opisane w Agencji Badawczej. Planowaną sieć badawczą 5G zaprojektowano w ten sposób, aby umożliwiła ona prowadzenie badań teoretyczno-eksperymentalnych dotyczących wszystkich funkcjonalności oferowanych przez sieć i usługi 5G. Zapewnienie powyższego umożliwiłoby zespołom krajowym wywieranie istotnego wpływu na udział w dalszych pracach nad rozwojem infrastruktury sieci 5G i jej właściwym wdrażaniem w sieciach operatorskich. Z infrastruktury tej powinny korzystać krajowe zespoły badawcze, producenci sprzętu i usług 5G oraz operatorzy sieci. Wiele wiodących firm działających w kraju wyraziło swoje zainteresowanie korzystaniem z tej infrastruktury.

Zakłada się, że dostęp do projektowanych laboratoriów będzie możliwy dla wszystkich krajowych zespołów badawczych oraz podmiotów przemysłowych. W tym celu zostanie opracowany regulamin dostępu do infrastruktury wraz ze wstępnym cennikiem.

Sieć międzyregionalna

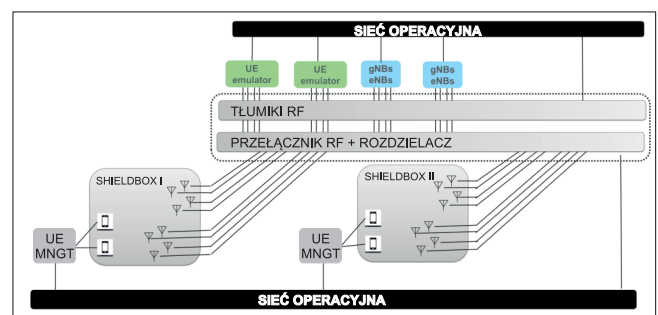
W krajowym laboratorium wyróżnia się dwa rodzaje sieci 5G, którymi są sieć międzyregionalna 5G, która jest wspólna dla wszystkich lokalizacji oraz sieci lokalne 5G, umieszczone w poszczególnych lokalizacjach. Organizację sieci przedstawiono na rys. 1. Urządzenia końcowe z każdej lokalizacji są podłączone sieciami RAN (Radio Access Network) do jednej z wymienionych sieci. Intencją jest, aby sieć międzyregionalna była siecią stabilną i zbudowaną z użyciem podobnej klasy urządzeń, jak w sieciach operatorskich. Zadaniem sieci lokalnych jest przeprowadzanie eksperymentów badawczych i testowanie nowych rozwiązań, a więc sieci te powinny się budować opierając się na rozwiązaniach otwartych.



■ Rys. 1. Sieć międzyregionalna i sieci lokalne

Sieci w poszczególnych lokalizacjach Laboratorium Politechniki Warszawskiej

Laboratorium ma zapewniać możliwość prowadzenia badań w środowisku złożonym z różnych implementacji rdzenia 5G, różnych sieci RAN oraz terminali i emulatorów użytkowników. Rdzeń sieci będzie uruchamiany w centrum danych, natomiast elementy wykorzystujące interfejs radiowy będą umieszczone w klatkach Faradaya (tzw. *shieldboxach*), umożliwiając pracę z częstotliwościami licencjonowanymi. Poszczególne *shieldboxy* będą zawierać terminale i głowice radiowe, które za pośrednictwem konfigurowalnego przełącznika i tłumika RF będą dołączone do stacji bazowych i emulatorów. Ich zadaniem będzie łączenie tych środowisk, zgodnie z założoną konfiguracją, bez konieczności ręcznej ingerencji w połączenia falowodowe, jak na rys. 2. W szczególności dany *shieldbox* można dołączyć do sieci międzyregionalnej.



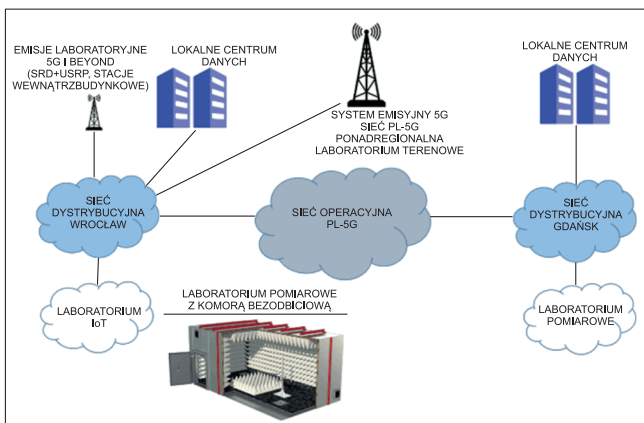
■ Rys. 2. Elastycznie zestawiane środowisko radiowe

Laboratorium ma umożliwić badanie technik przetwarzania na brzegu sieci (*Mobile Edge Computing – MEC*). W tym celu zostaną wykorzystane serwery MEC oraz otoczenie złożone z urządzeń multimedialnych i środowiska IoT, które będą źródłem danych i sygnałów do analizy. Dodatkowo laboratorium będzie miało zestaw urządzeń do badań nad językiem P4, wirtualizacją oraz zarządzaniem klastrem serwerów.

Specyfiką laboratorium PW jest jego lokalizacja w budynkach PCSS. Tym samym nie przewiduje się radiowych instalacji zewnętrznych, a duży nacisk kładziony jest na zapewnienie zdalnego dostępu do zasobów laboratorium.

Laboratorium Instytutu Łączności – PIB

Laboratorium będzie miało dwie lokalizacje – w oddziałach Instytutu we Wrocławiu i w Gdańsku. We Wrocławiu zostanie uruchomiona w pełni funkcjonalna, zintegrowana z siecią



■ Rys. 3. Laboratoria oraz systemy sieci 5G uruchamiane w Instytucie Łączności – PIB

ponadregionalną, sieć emisyjna 5G, pracująca w zakresie FR1 na zewnątrz budynków, a także w formie wewnątrzbudynkowej sieć 5G w zakresach FR1, FR2 i w pasmach nielicencjonowanych, jak to przedstawiono na rys. 3.

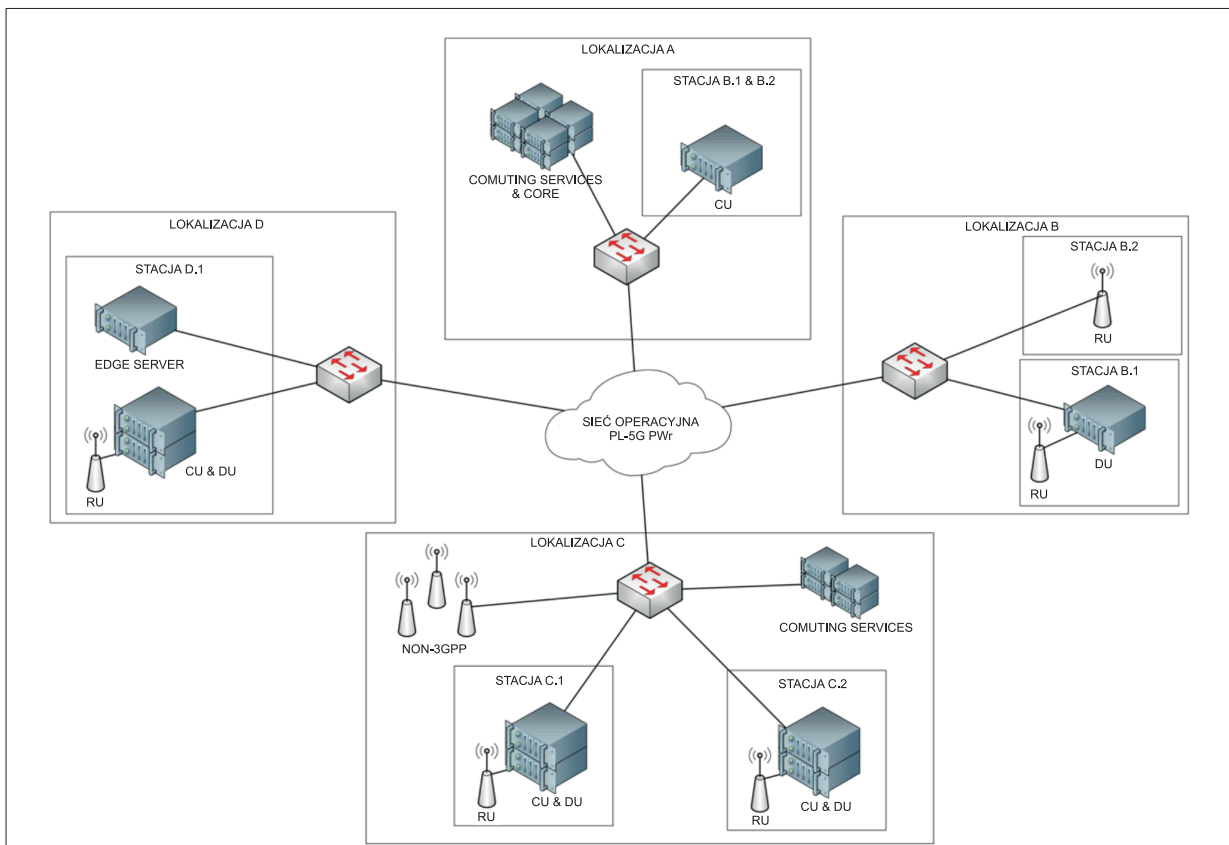
Jednym z głównych i specyficznych elementów laboratorium będzie budowana we Wrocławiu komora bezodbiowa hybrydowa 10 m, przeznaczona do wykonywania badań kompatybilności elektromagnetycznej i badań systemów antenowych (SAC i FAR). W komorze będą mogły być wykonywane pomiary kompatybilności elektromagnetycznej, zakłóceń międzysystemowych, odporności i emisyjności urządzeń, a także badania charakterystyk systemów antenowych 5G czy parametrów urządzeń 5G (np. TRP, EIRP czy pomiary czułości urządzeń, badania współczynników ochronnych czy selektywności).

We Wrocławiu jest planowana również instalacja sieci zewnętrznej 5G w paśmie FR1, pokrywająca zasięgiem okoliczną część miasta, a także przenośne instalacje wewnętrzne w pasmach FR1, FR2 i nielicencjonowanych do celów badań w komorze bezodbiowej i badań *beyond 5G* z wykorzystaniem np. elementów radia programowalnego SDR. Schemat koncepcyjny sieci PL-5G w IŁ-PIB przedstawiono na rys. 3.

Laboratorium Politechniki Wrocławskiej

Laboratorium umożliwi realizację rozbudowanych testów aplikacyjnych. Infrastruktura ma zapewnić zarówno demonstrację systemów usługowych w środowisku sieci 5G, jak również przeprowadzenie badań wydajności oraz możliwości integracji usług.

Ze względu na ograniczony obszar działania planowanej sieci, niezbędne jest udostępnienie odpowiednio zróżnicowanego środowiska przy ograniczonym obszarowo przemieszczaniu terminali. Kampus Politechniki Wrocławskiej oraz jego okolice umożliwią realizację wielu scenariuszy w terenie zarówno w przypadku



■ Rys. 4. Laboratoria oraz systemy sieci 5G uruchamiane na Politechnice Wrocławskiej

terminali użytkowników przemieszczających się powoli (piesi), jak i z większymi prędkościami (rowerzyści itp.). Ponadto będzie możliwe wydzielanie na potrzeby testów przestrzeni dla pojazdów zdalnie sterowanych, w tym autonomicznych, zarówno jeżdżących, jak i latających.

Elementy sieci 5G na Politechnice Wrocławskiej zostaną rozmieszczone w 4 lokalizacjach, jak pokazano na rys. 4. Lokalizacja A jest przeznaczona dla centrum obliczeniowego. Będą w niej znajdować się również elementy sieci dostępczej wspierające działanie stacji bazowych umieszczonych w lokalizacji B. W lokalizacji B będą umieszczone elementy stacji bazowych, w szczególności głowice radiowe oraz anteny. Stacje w lokalizacji B planowane są na pasmo FR1 oraz FR2.

Lokalizacja C będzie łączyła w sobie brzegowe centrum danych oraz stacje bazowe 5G. Stacje w tej lokalizacji planowane są na pasmo FR2. Ponadto znajdować się w niej będą urządzenia dostępcze typu non-3GPP, wykorzystujące protokoły z rodziny 802.11.

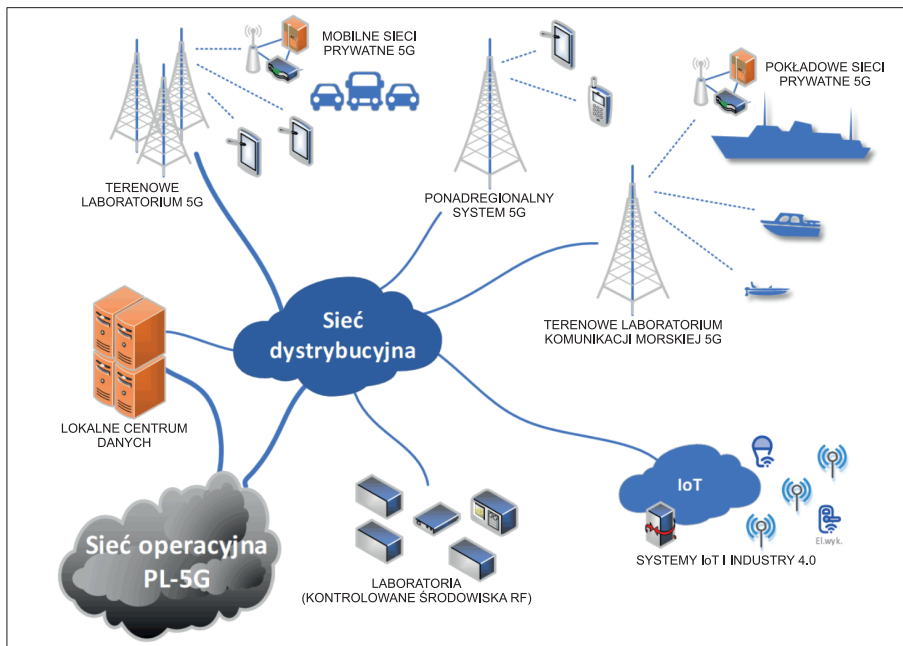
W lokalizacji D, oddalonej od głównego kampusu o ok. 3 km, zostanie umieszczona stacja bazowa na pasmo FR1. W niej dostępny będzie również serwer dla obliczeń brzegowych niewielkiej mocy.

Laboratorium Politechniki Gdańskiej

Laboratorium obejmuje zarówno węzeł ogólnokrajowej sieci ponadregionalnej, jak i systemy przeznaczone do realizacji zadań badawczych dotyczących specyficznych kierunków badań, tak jak to przedstawiono na rys. 5.

Część laboratoryjna budowanej infrastruktury obejmuje lokalne centrum danych oraz urządzenia radiowe umieszczone w kontrolowanych środowiskach propagacyjnych. W połączeniu z emulatorami urządzeń klienckich oraz urządzeniami pomiarowymi takie rozwiązanie umożliwi realizację bardzo szerokiego spektrum prac badawczych dotyczących mechanizmów i protokołów systemu 5G.

Politechnika Gdańska planuje też wdrożenie systemów terenowych, w tym sieci dostępczej 5G NR o wielokrotnym pokryciu oraz systemu przeznaczonego do badań dotyczących zastosowania rozwiązań 5G w środowisku morskim.



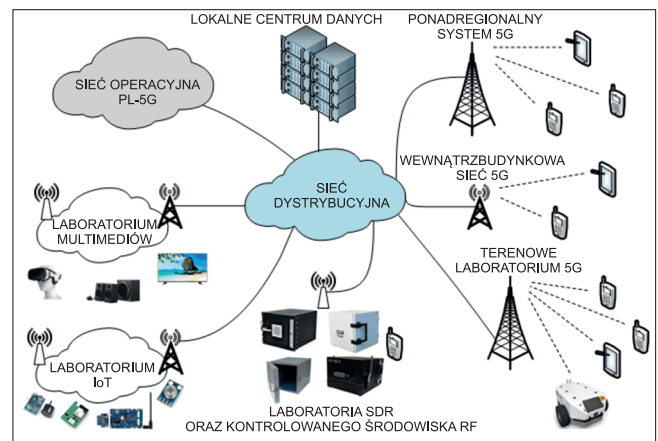
■ Rys. 5. Laboratoria oraz systemy sieci 5G uruchamiane na Politechnice Gdańskiej

Laboratorium Akademii Górniczo-Hutniczej

Na rys. 6 przedstawiono schemat laboratorium, który obejmuje ogólnokrajową sieć ponadregionalną, sieć wewnątrzbudynkową, jak i laboratoria specjalistyczne umożliwiające prowadzenie wszechstronnych badań naukowych związanych z sieciami i usługami 5G.

Systemy dostępczych sieci 5G będą złożone z zestawów stacji bazowych gNB i platform sprzętowych radia programowalnego SDR/OpenAirInterface, pracujących z użyciem różnych zakresów częstotliwości wraz z osprzętem koniecznym do pracy zarówno w środowisku zewnętrznym, jak i wewnątrzbudynkowym. Laboratoria sieci dostępczych będą wyposażone również w punkty dostępcze sieci Wi-Fi najnowszych generacji wraz z terminalami 5G pracującymi zgodnie ze standardami 3GPP oraz non-3GPP.

Laboratoria otoczenia sieci 5G zapewnią możliwość prowadzenia badań w zakresie nowoczesnych usług oferowanych za pośrednictwem sieci 5G oraz subiektywnego i obiektywnego postrzegania jakości tych usług przez użytkowników. Katalog usług dostępnych w tworzonym laboratorium obejmuje m.in.



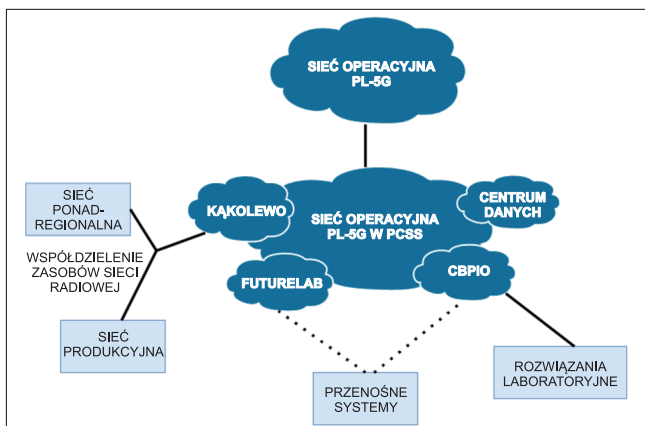
■ Rys. 6. Laboratoria oraz systemy sieci 5G uruchamiane w AGH w Krakowie

usługi wirtualnej i rozszerzonej rzeczywistości, hologramy, kamery 360 stopni oraz transmisje multimedialne najwyższej jakości. Dedykowane laboratorium IoT umożliwi prowadzenie kompleksowych badań, dotyczących zagadnień związanych z Internetem Rzeczy, poczynając od aspektów związanych z funkcjonowaniem infrastruktury sieciowej rdzenia 5G, przez zastosowanie zróżnicowanych technik dostępu, aż po uruchamianie i obsługę elementów aplikacyjnych związanych z usługami IoT, w szczególności z wykorzystaniem usług *fog* i *edge computing*.

Laboratorium Poznańskiego Centrum Superkomputerowo-Sieciowego

Blokowy schemat topologii laboratorium przedstawiono na rys. 7.

Pierwszą z lokalizacji jest Centrum Badawcze Polskiego Internetu Optycz-



■ Rys. 7. Topologia sieci 5G w węźle PCSS

nego, będącą główną siedzibą PCSS oraz centrum przetwarzania danych. W tej lokalizacji będą skoncentrowane główne zasoby obliczeniowe laboratorium. Następną z lokalizacji jest FutureLab, gdzie przewidziane jest wykorzystanie przenośnych rozwiązań sieci 5G wraz z usługami. Obie lokalizacje mają fizyczne połączenie między sobą, co umożliwi zestawianie eksperymentów z wykorzystaniem zasobów obu lokalizacji. Ostatnią z lokalizacji jest Lotnisko EPPG, znajdujące się w Kąkolewie, które umożliwia prowadzenie badań dotyczących nowych rozwiązań i aplikacji dla bezzałogowych pojazdów powietrznych czy naziemnych lub otoczenia sieci 5G, wykorzystujących technikę przetwarzania danych na brzegu sieci.

W laboratorium PCSS planuje się zastosowanie rozwiązań zarówno laboratoryjnych, jak i produkcyjnych, zapewniających zasięgi umożliwiające przeprowadzanie eksperymentów w środowisku zbliżonym do komercyjnych wdrożeń sieci 5G. Podejście to umożliwi prowadzenie badań z wykorzystaniem urządzeń laboratoriów otoczenia związanych z multimediami, lotnictwem i komunikacją lądową czy przemysłem 4.0.

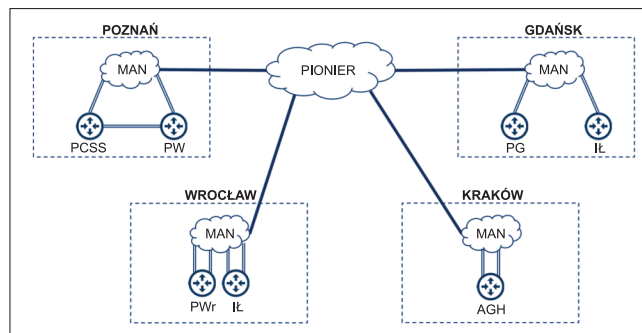
Sieć operacyjna

Sieć operacyjna krajowego laboratorium ma za zadanie połączenie laboratoriów umiejscowionych w różnych lokalizacjach, jak to pokazano na rys. 8. W tym celu będzie wykorzystywana ogólnopolska sieć światłowodowa PIONIER. Będzie ona łączyła 4 ośrodki w kraju i umożliwiała podłączanie lokalnych sieci regionalnych przez miejskie sieci akademickie.

Węzły sieci operacyjnej komunikują się przez sieć PIONIER, wykorzystując ruter operacyjny oraz dedykowane łącza światłowodowe. Przełączniki zapewniają komunikację pomiędzy wirtualnymi zasobami obliczeniowymi i dostęp do pamięci masowej, tak jak pokazano to na rys. 9. Wszystkie zasoby laboratorium badawczego będą podłączane przez przełącznik laboratoryjny (LAB), a jego konfiguracja będzie zautomatyzowana, aby dostarczać na żądanie izolowane wirtualne sieci lokalne (VLAN).

Częstotliwości pracy sieci PL 5G

W celu realizacji emisji testowych w sieci PL-5G niezbędne jest wykorzystanie częstotliwości radiowych służących do pracy w sieciach 5G NR. Zasadniczo rozróżnia się dwa podstawowe zakresy częstotliwości pracy sieci 5G NR: **FR1** (*Frequency Range 1*) – częstotliwości poniżej 7125 MHz oraz **FR2** (*Frequency Range 2*) – częstotliwości powyżej 24,25 GHz. Zakres FR1 jest najbardziej odpowiedni do pracy na rozległych obszarach (duże zasięgi stacji), podczas gdy częstotliwości zakresu FR2 wykorzystywane



■ Rys. 8. Topologia sieci operacyjnej

są do emisji lokalnych (małe zasięgi), gdy wymagana jest bardzo duża przepustowość (bardzo szerokie kanały radiowe). Możliwe są przy tym dwie podstawowe metody dostępu do widma radiowego: licencjonowany – w pasmach przeznaczonych dla systemów łączności ruchomej i nielicencjonowany – w pasmach ISM na zasadach współużytkowania widma obowiązujących w tych zakresach częstotliwości.

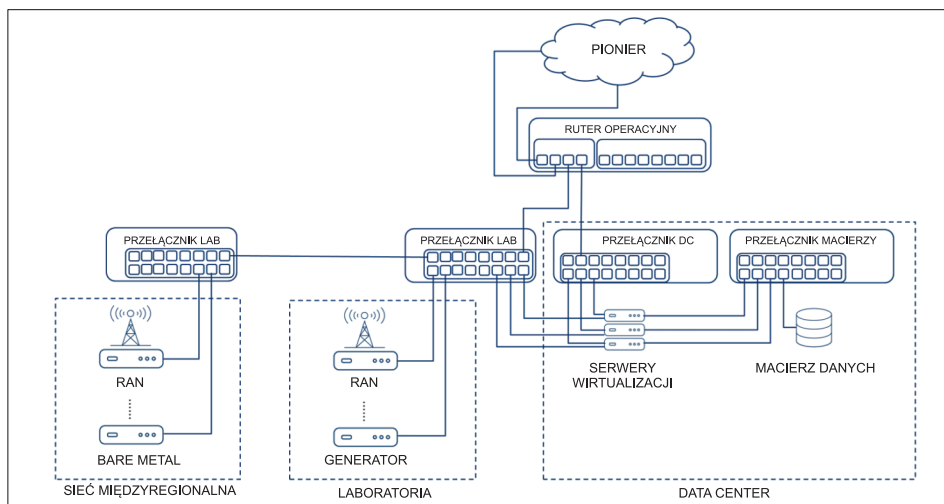
W projekcie PL-5G będą wykorzystywane zarówno częstotliwości zakresu FR1, jak i FR2, a także emisje w pasmach nielicencjonowanych ISM (tj. np. 2,4 GHz, 5 GHz). W przypadku zakresu FR1 dla każdej lokalizacji emisji będą uzgadniane z UKE odpowiednie kanały częstotliwości pasma C (zakres 3,4 – 4,4 GHz), w którym głównie pracują na świecie stacje 5G NR, a w przypadku zakresu FR2 odpowiednie kanały pasm milimetrowych (24,25 – 29,5 GHz). Dodatkowo pozyskane zostaną lokalnie niewielkie zasoby niskich częstotliwości (< 3 GHz) do celów realizacji emisji w standardach 3GPP (CAT1, NB IoT) dla systemów IoT na duże odległości.

Konkretne kanały i zakresy częstotliwości wykorzystywane w projekcie PL-5G będą zależeć od lokalizacji stacji i dostępnych w danym miejscu wolnych częstotliwości radiowych.

ZASADY KORZYSTANIA Z LABORATORIUM

Laboratoria projektu będą dostępne dla szerokiego grona użytkowników końcowych. Z infrastruktury badawczej będą mogli korzystać zarówno naukowcy, reprezentanci przedsiębiorstw (w tym przedstawiciele małych i średnich przedsiębiorstw, MŚP), jak również użytkownicy indywidualni. Zasady dostępu do infrastruktury badawczej PL-5G, a zatem prawa i obowiązki w zakresie korzystania z infrastruktury badawczej przy prowadzeniu badań naukowych lub prac rozwojowych, określone są w Regulaminie Dostępu. Podmiotem udostępniającym infrastrukturę badawczą jest 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, Regulaminem Dostępu oraz postanowieniami umowy zawartej z użytkownikiem końcowym.

W projekcie dostęp dla użytkowników końcowych do zasobów infrastruktury badawczej do prowadzenia prac badawczych lub rozwojowych przewiduje się w dwóch trybach. Pierwszy z trybów dostępu to 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. Drugi tryb dostępu do infrastruktury badawczej to tryb gospodarczy. Jest on wykorzystywany w przypadku udostępnienia zasobów i usług infrastruktury na rzecz przed-



■ Rys. 9. Schemat węzła sieci operacyjnej

siębiorców i MŚP oraz pracowników jednostek naukowych prowadzących badania na rzecz przedsiębiorców.

SYSTEM ZARZĄDZANIA EKSPERYMENTAMI

System zarządzania w laboratorium PL-5G kontroluje procesy realizacji eksperymentów prowadzonych przez użytkowników w rozproszonej infrastrukturze oraz monitoruje elementy tej infrastruktury.

Z technicznego punktu widzenia korzystanie z laboratoriów będzie wymagało elektronicznej rejestracji w systemie zarządzania za pomocą stworzonej do tego celu aplikacji internetowej dostępnej z poziomu przeglądarki internetowej. Rejestracja w systemie będzie obowiązkowa dla wszystkich użytkowników, którym będzie udostępniana infrastruktura.

System zostanie zbudowany z wykorzystaniem instrumentów, umożliwiających monitorowanie użycia zasobów i ich poprawnego działania. Zapewni zarządzanie dostępem do poszczególnych laboratoriów. Umożliwi tworzenie raportów o wykorzystaniu zasobów z podziałem na gospodarczy i niegospodarczy charakter ich wykorzystania.

Wszyscy użytkownicy zalogowani w systemie zarządzania PL-5G będą mieli możliwość wglądu w ofertę poszczególnych laboratoriów badawczych budowanych w projekcie, a następnie, wykorzystując dedykowany formularz, aplikowania o rezerwację i przygotowanie zasobów do przeprowadzenia swoich prac badawczych.

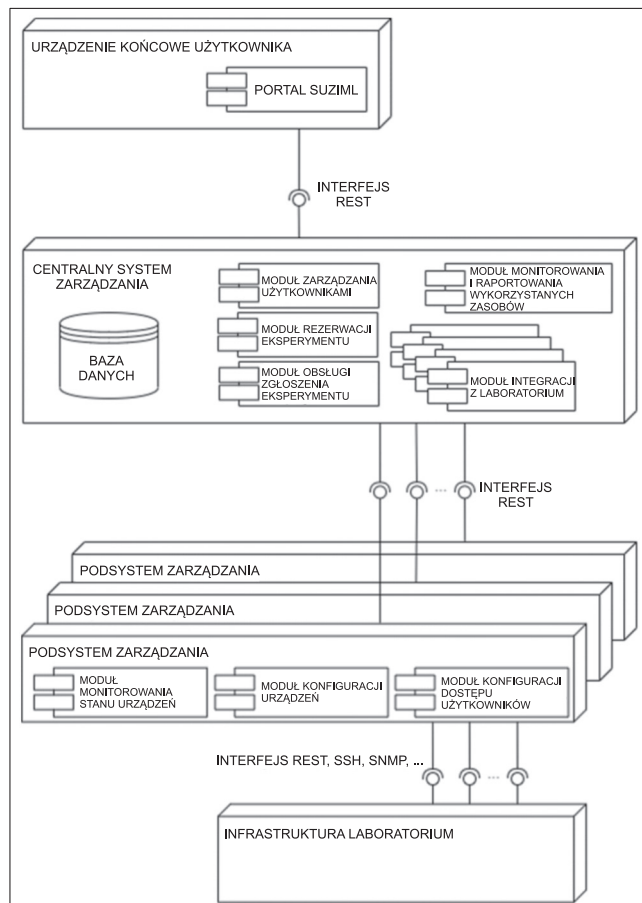
Użytkownicy będą mieli możliwość wybrania, gdzie mają znajdować się zasoby, z których chcą skorzystać, oraz wprowadzenia szczegółowej specyfikacji zasobów (np. parametrów maszyn wirtualnych uruchamianych na żądanie) oraz wskazania topologii połączeń między zasobami. System udostępni również narzędzie, zapewniające wskazanie uczestników prac (innych użytkowników zarejestrowanych w systemie), którzy mają uzyskać prawa dostępu do zasobów (dedykowanego dla potrzeb indywidualnego użytkownika laboratorium) w celu wspólnej realizacji prac badawczych.

Opogramowanie systemu zarządzania zostanie oparte na architekturze rozproszonej. Architektura oprogramowania przedstawiono na rys. 10. Generyczny rdzeń systemu powinien mieć możliwość współpracy z wieloma heterogenicznymi infrastrukturami laboratoriów w celu realizacji następujących procesów:

- konfiguracji urządzeń zgodnie ze specyfikacją rezerwacji wprowadzonej przez użytkownika,
- konfiguracji dostępu użytkowników (w głównej mierze zdalnego) do zarezerwowanych zasobów,
- pobrania i prezentacji informacji o dostępności zasobów.

System centralny będzie komunikował się z podsystemami zarządzania przez dedykowane moduły integracji.

W przypadku, gdy powyższe wspomniane procesy nie mogą być realizowane automatycznie (m.in. z uwagi na charakter lub ograniczenia rezerwowanych



■ Rys. 10. Architektura systemu zarządzania PL-5G

zasobów), system będzie wspierał operatorów infrastruktury PL-5G w procesie ręcznego przygotowania zasobów.

W artykule pokrótce przedstawiono zarys planowanej sieci PL-5G, pn. *Krajowe laboratorium sieci i usług 5G wraz z otoczeniem*. Budowa tej sieci powinna być zakończona pod koniec 2023 r. Oczekuje się, iż dostęp do tego laboratorium istotnie pomoże w realizacji ważnych projektów krajowych, jak i międzynarodowych. Ponadto laboratorium powinno w sposób znaczący uatrakcyjnić proces dydaktyczny na uczelniach technicznych.