



**INFRASTRUKTURA BADAWCZA
DLA BADAŃ W OBSZARZE PROGRAMU HORYZONT 2020**

Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych

**Krzysztof Gierłowski
Politechnika Gdańska**





Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych

- System przeznaczony do prowadzenia badań dotyczących technik oraz systemów bezprzewodowych, a także aplikacji mobilnych w zróżnicowanym środowisku miejskim:
 - skomplikowanie i różnorodność środowiska propagacyjnego na terenach zurbanizowanych,
 - interferencje z bardzo licznym i zróżnicowanym zbiorem źródeł sygnałów w wykorzystywanym paśmie radiowym,
 - duża koncentracja użytkowników urządzeń mobilnych oraz mnogość wykorzystywanych przez nich usług.
- System zaprojektowany z myślą o łatwości zarządzania i równoległego prowadzenia zróżnicowanych eksperymentów.

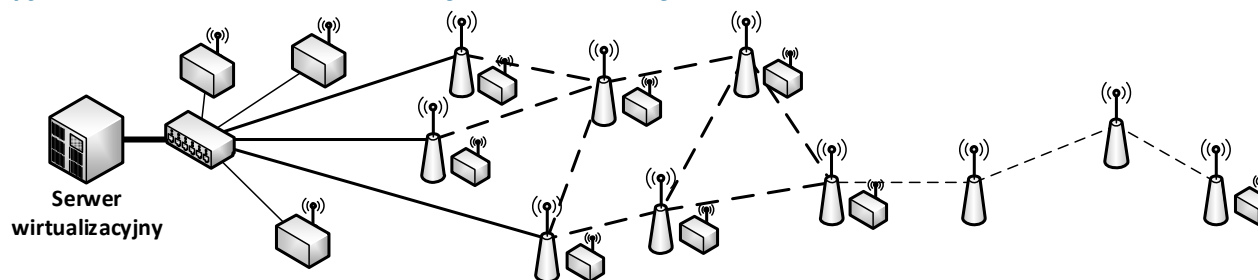
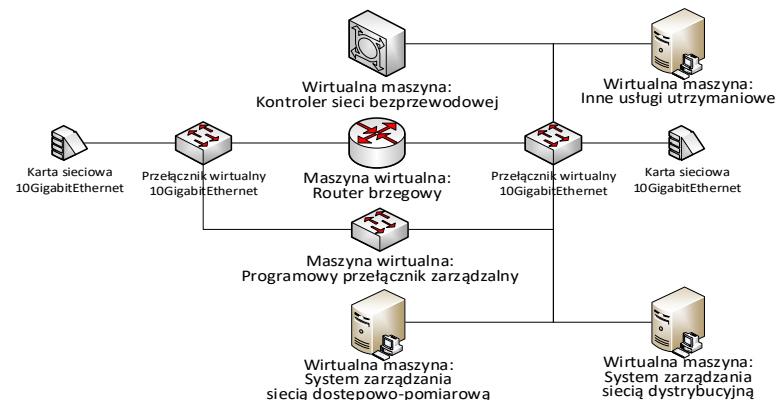


Badania w zróżnicowanym środowisku

- Laboratorium pozwoli na badania technik bezprzewodowych w zróżnicowanym środowisku miejskim: wnętrza budynków, place, ulice, tereny handlowe, tereny zielone, komunikacja miejska i kolejowa, etc.
- Dzięki zastosowaniu połączenia:
 - sieci bezprzewodowej z dedykowanym, scentralizowanym kontrolerem,
 - elementów infrastruktury bezprzewodowej o transmisji wieloskokowejstruktura tworzonego systemu może być dynamicznie rozbudowywana i modyfikowana zgodnie z potrzebami badawczymi.
- Zastosowanie zintegrowanego systemu zarządzania oraz dedykowanego systemu monitorowania środowiska radiowego od warstwy 1 ISO-OSI pozwala na łatwe zbieranie i interpretację wyników.

Architektura laboratorium

- Elastyczna, zwirtualizowana infrastruktura centralna laboratorium 10 GbEthernet – kontroler sieci bezprzewodowej, router, przełączniki zarządzalne, serwery systemu zarządzania i utrzymaniowe.
- Sieć dystrybucyjna – wydajna i niezawodna sieć łącząca punkty dostępowe z infrastrukturą centralną Laboratorium. Zastosowanie rozwiązań sieci kratowej podnosi bezawaryjność i umożliwia łatwą rozbudowę.

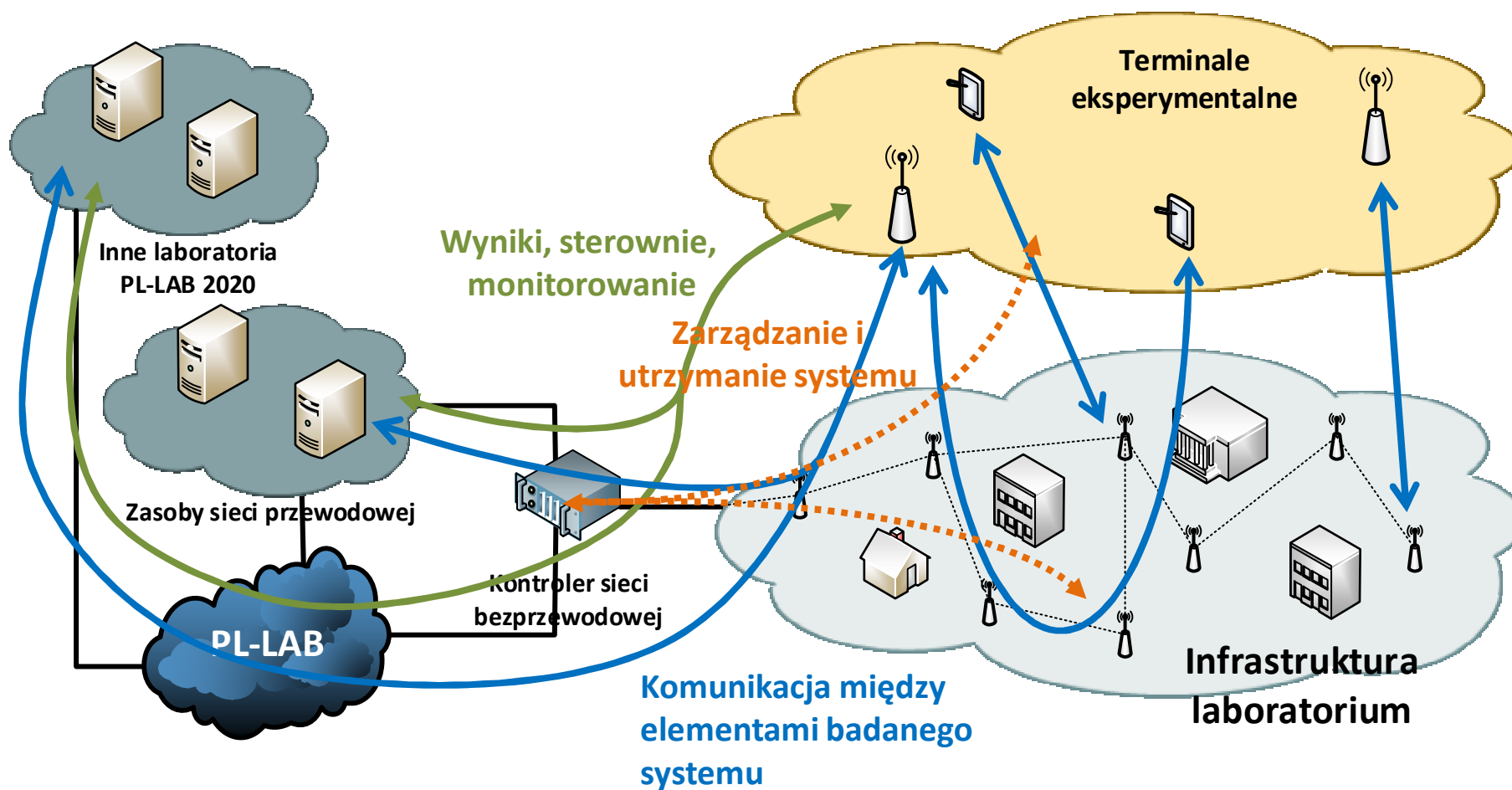


- Heterogeniczna sieć dostępowo-pomiarowa – sieć dostępowo złożona z urządzeń wielu standardów (IEEE 802.11 a/b/g/n/ac 3x3:3ss MIMO, IEEE 802.16d), umożliwiającą tworzenie wirtualnych struktur sieciowych na potrzeby eksperymentów oraz na monitorowanie środowiska radiowego



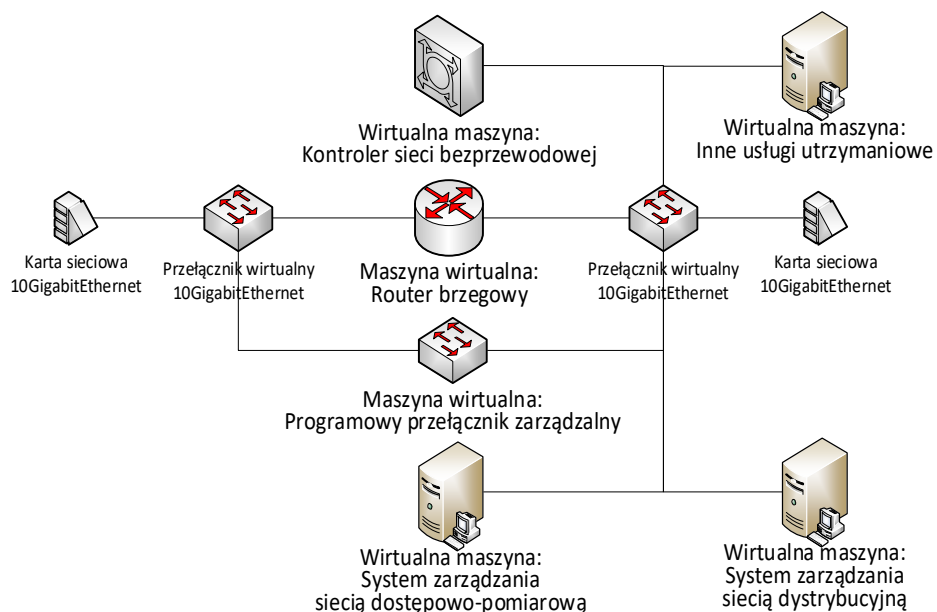
APB32e

Architektura laboratorium



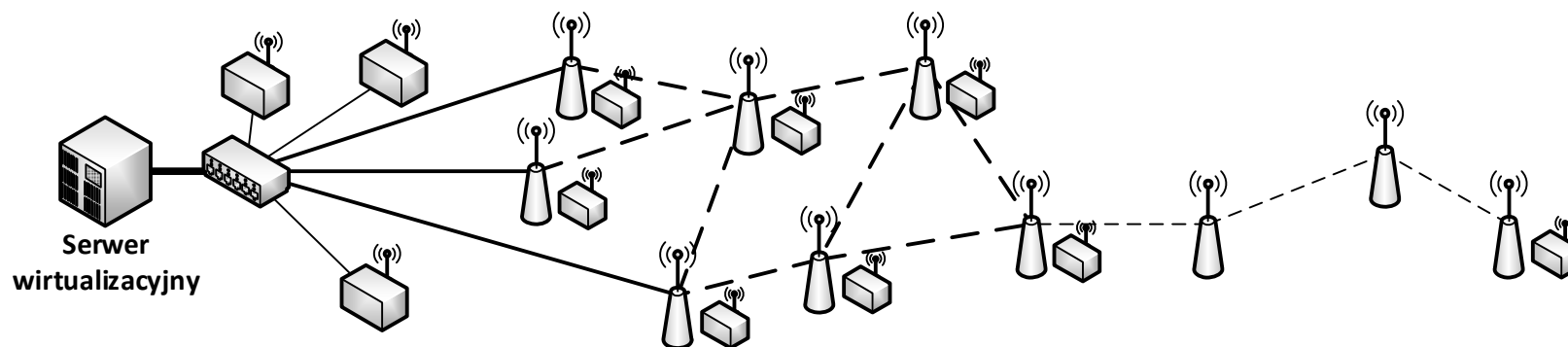
Centralna infrastruktura laboratorium

- Bezprzewodowa sieć dostępowa z centralnym kontrolerem i mechanizmami wirtualizacji dostępu do zasobów radiowych:
 - kontroler sieci bezprzewodowej firmy Fortinet (dawniej Meru Networks),
 - system zarządzania siecią dostępową, w postaci dedykowanego rozwiązania EzRF wraz z rozszerzeniami Spectrum Manager i Service Assurance,
- Bezprzewodowa sieć dostępowa – klasyczna:
 - system zarządzania siecią dostępową,
- Sieć dystrybucyjna:
 - system zarządzania siecią dystrybucyjną,
- Usługi utrzymaniowe Laboratorium:
 - serwer usług utrzymaniowych sieci, pozwalający na realizację szeregu usług utrzymaniowych stworzonego systemu sieciowego, takich jak np. serwery DHCP, DNS, NTP, TFTP, punkt agregacji logów, itp.
- Punkt wymiany ruchu z systemami zewnętrznymi:
 - router brzegowy w postaci wirtualnej instancji systemu operacyjnego RouterOS, odpowiedzialny za przenoszenie ruchu pomiędzy systemem Laboratorium, a systemami zewnętrznymi w warstwie 3 ISO-OSI,
 - programowy przełącznik warstwy 2 ISO-OSI, zrealizowany przy wykorzystaniu oprogramowania Open vSwitch, pozwalający na przenoszenie powyższego ruchu w warstwie łącza danych.



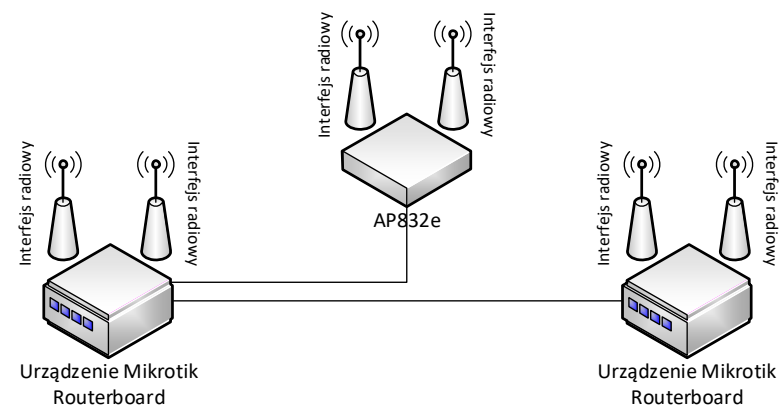
Sieć dystrybucyjna

- Elementy:
 - Połączenia przewodowe – łącza 1 Gb/s Ethernet
 - Punkty styku części przewodowej i bezprzewodowej – węzły łączące sieć przewodową z bezprzewodową siecią o transmisji wieloskokowej
 - Węzły bezprzewodowe sieci dystrybucyjnej – węzły sieci wieloskokowej uzupełnione o elementy sieci dostępowo-pomiarowej.
- Łączność w warstwie 2 ISO-OSI
 - Zaprojektowane łącza punkt-punkt IEEE 802.11ac MIMO 2x2
 - Dedykowane elementy antenowe (o kącie promieniowania 1,5 – 20 stopni)
 - Wyznaczenie ścieżek transmisji danych – protokół HWPM+



Węzły sieci dystrybucyjnej

- Część bezprzewodowa sieci dystrybucyjnej zrealizowana jest przy wykorzystaniu urządzeń Mikrotik Routerboard 953GS-5HnT.
- RouterOS – system operacyjny przeznaczony dla niewielkich sieci operatorskich. Funkcjonalność obejmuje np.: IPv4/IPv6, NAT/firewall, web proxy, 12 typów tuneli L2/L3, kształtowanie ruchu, MPLS/VPLS/TE, OpenFlow, VRRP, wirtualizację, 7 protokołów routingu dynamicznego, 10 trybów pracy interfejsu bezprzewodowego - 3 protokoły dostępu do medium (w tym z przepłytywaniem i TDMA), ...
- Korzystając z dodatkowych interfejsów bezprzewodowych, urządzenia powyższe mogą również pełnić rolę dostępowo-pomiarową.
 - Pozwala to na uzyskanie środowiska zróżnicowanej sprzętowo (pod względem producenta) oraz heterogenicznej (protokoły Nstreme i NV2) sieci WLAN.



Sieć dostępowo-pomiarowa

- Punkty dostępowe wyposażone w 2 interfejsy radiowe MIMO 3x3:3, pracujące w:
 - standardzie IEEE 802.11 a/b/g/n/ac,
 - paśmie ISM 2.4 i 5 GHz.
- Zdolne do monitorowania środowiska radiowego w warstwie 1 ISO-OSI przy użyciu w tym celu jednego z interfejsów.
- Pełna integracja z kontrolerem sieci bezprzewodowej.
- W celu wykorzystania pełnych możliwości punktów dostępowych AP832e zaplanowano zastosowanie dedykowanych anten:
 - przeznaczonych do pracy w paśmie ISM 2.4 i 5 GHz,
 - złożonych z 6 elementów składowych: 2x MIMO 3x3.
- W zależności od lokalizacji zaplanowano wykorzystanie anten:
 - dookólnych,
 - sektorowych o kącie promieniowania 90 oraz 120 stopni.



Podstawowa wersja węzła sieci dostępowo-pomiarowej



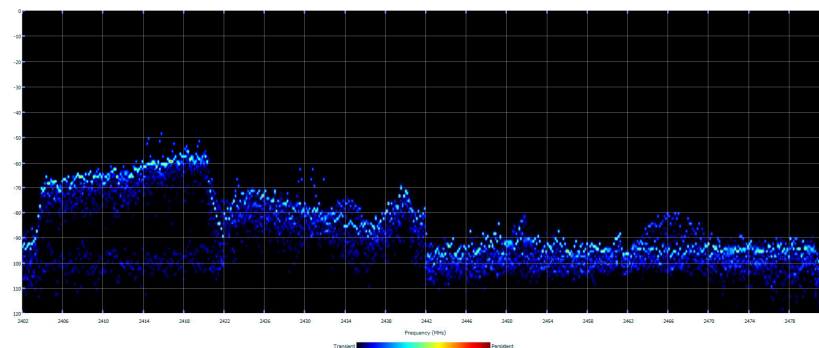
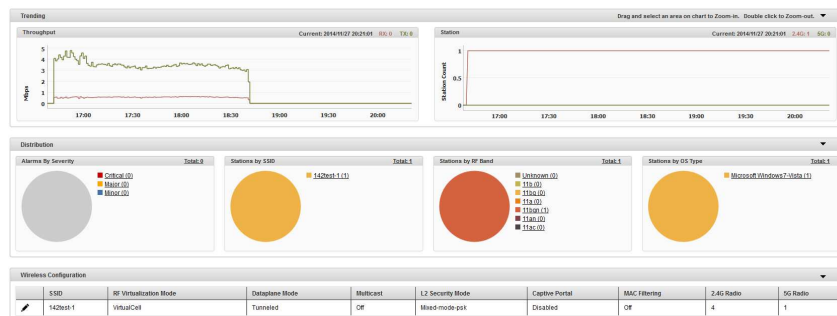
Infrastruktura sieci metropolitalnej

- Uzupełnienie instalacji bezprzewodowej WLAN o elementy sieci metropolitalnej.
- Pozwoli na stworzenie w laboratorium pełnego środowiska komunikacyjnego dla metropolitalnego użytkownika mobilnego (z wyłączeniem technik 3GPP).
- Umożliwi badania dotyczące integracji komunikacji morskiej z systemami lądowymi.
- RADWIN FiberInMotion – obsługa użytkowników mobilnych w odległości do 10 km w warunkach miejskich,
- RADWIN Jet – obsługa użytkowników w odległości do 40 km,
- Alvarion BreezeMAX - obsługa standardu IEEE 802.16d (WiMAX), popularnego rozwiązania klasy Wireless Metropolitan Area Network.
 - stacje bazowe - rozwiązanie zintegrowane i łatwe we wdrożeniu,
 - terminale serwisowe.



System zarządzania

- Oprogramowanie stanowiące elementy systemu zarządzania przeznaczony jest do uruchomienia w środowisku zvirtualizowanym systemu VMware.
- Oprogramowanie zarządzające
 - E(z)RF® Network Manager** – Konfiguracja i ogólne monitorowanie wszystkich urządzeń, wykrywanie stanów błędnych, analiza trendów długoterminowych, wizualizacja zasięgu/obciążenia, raportowanie.
- Oprogramowanie monitorujące warstw 2-4
 - Service Assurance Manager** – Monitorowanie jakości komunikacji, testowanie systemu z użyciem wirtualnych stacji klienckich, wykrywanie zmian w działaniu systemu względem stanu odniesienia, szacowanie jakości obsługi oferowanej przez aplikacje użytkownikom końcowym.
- Oprogramowanie monitorujące warstw 1-2
 - Spectrum Manager** – monitorowanie i rejestracja stanu środowiska radiowego, automatyczna klasyfikacja źródeł zakłóceń.



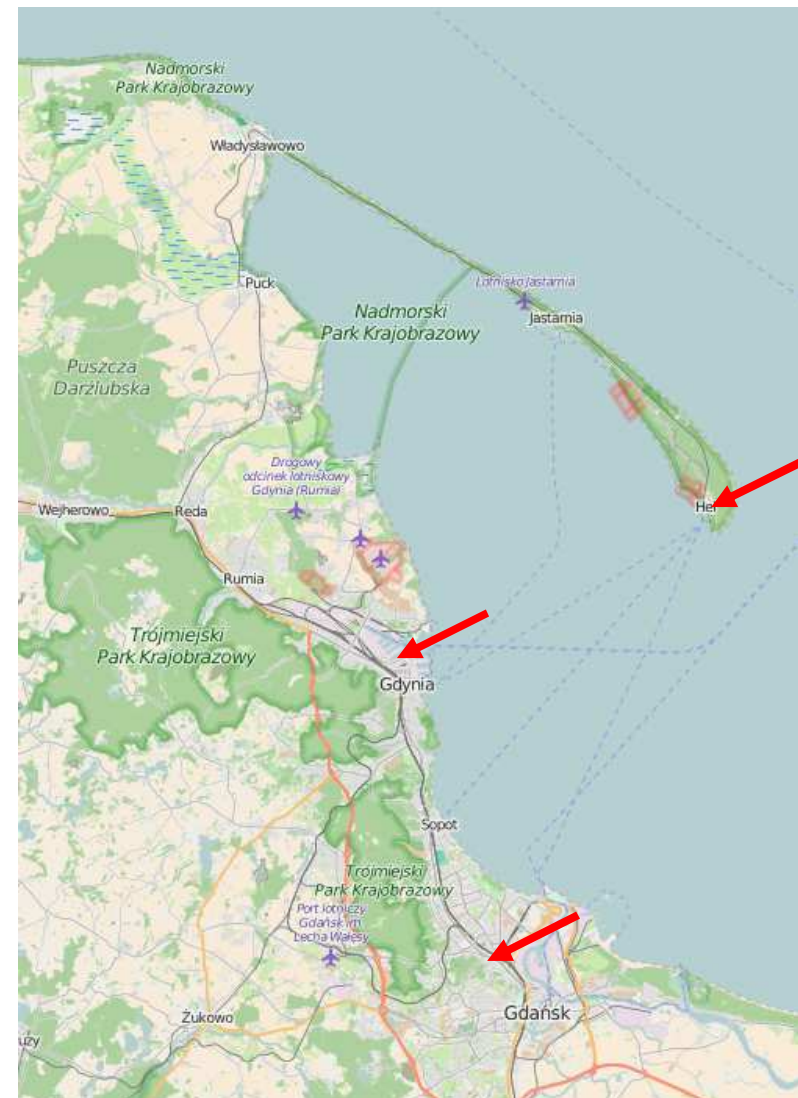
Terminale eksperymentalne

- Dostępne terminale są urządzeniami pozwalającymi na łatwe uruchamianie dostępnych dystrybucji systemów operacyjnych przeznaczonych do zadań sieciowych oraz własnego oprogramowania.
- Ze względu na zróżnicowanie wymagań dot. węzłów sieci bezprzewodowej laboratorium wyposażono w 3 ich rodzaje:
 - Uniwersalne węzły uruchomieniowe –przenośne, do zastosowań ogólnych i dydaktycznych.
 - Platformy uruchomieniowe zaawansowanych węzłów komunikacji bezprzewodowej – łatwo przenośne, o dużych zasobach i zróżnicowanych interfejsach, do implementacji specyficznych węzłów sieci (np. bram).
 - Mobilne węzły bezprzewodowe – mobilne dzięki niewielkim rozmiarom i łatwości zasilania, wyposażone we wbudowane interfejsy bezprzewodowe.

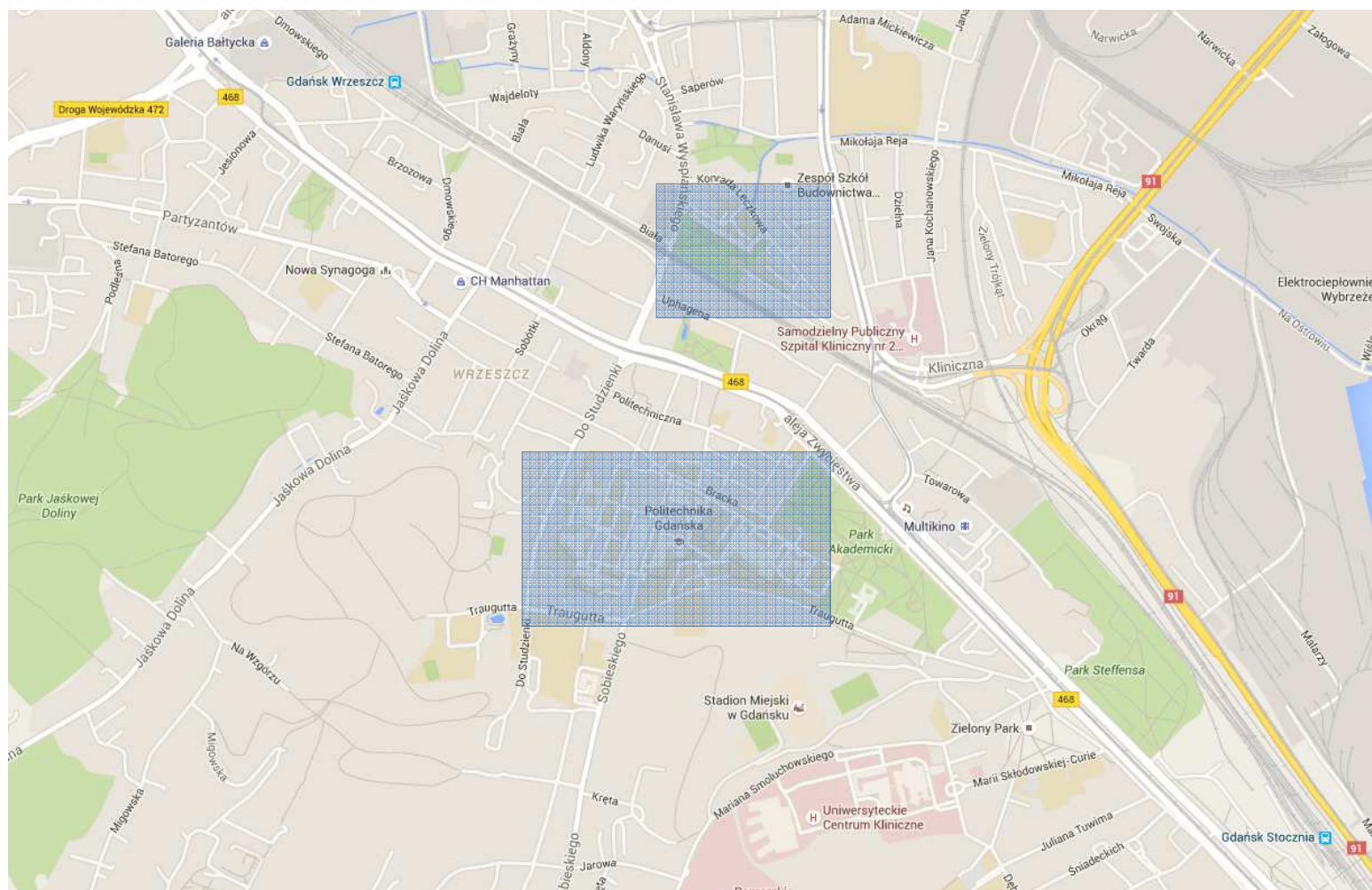


Miejsca instalacji węzłów sieci

- Uruchomiono 18 węzłów, w następujących lokalizacjach:
 - Gdańsk-Wrzeszcz, okolice kampusu Politechniki Gdańskiej,
 - Gdynia, okolice portu,
 - przygotowano instalację 2 węzłów na półwyspie Helskim,
 - 2-4 węzłów jest wykorzystywanych doraźnie, w miarę potrzeb badawczych i instalowanych w lokalizacjach tymczasowych.
- Powyższe węzły są w pełni zintegrowane z systemami zarządzania laboratorium.

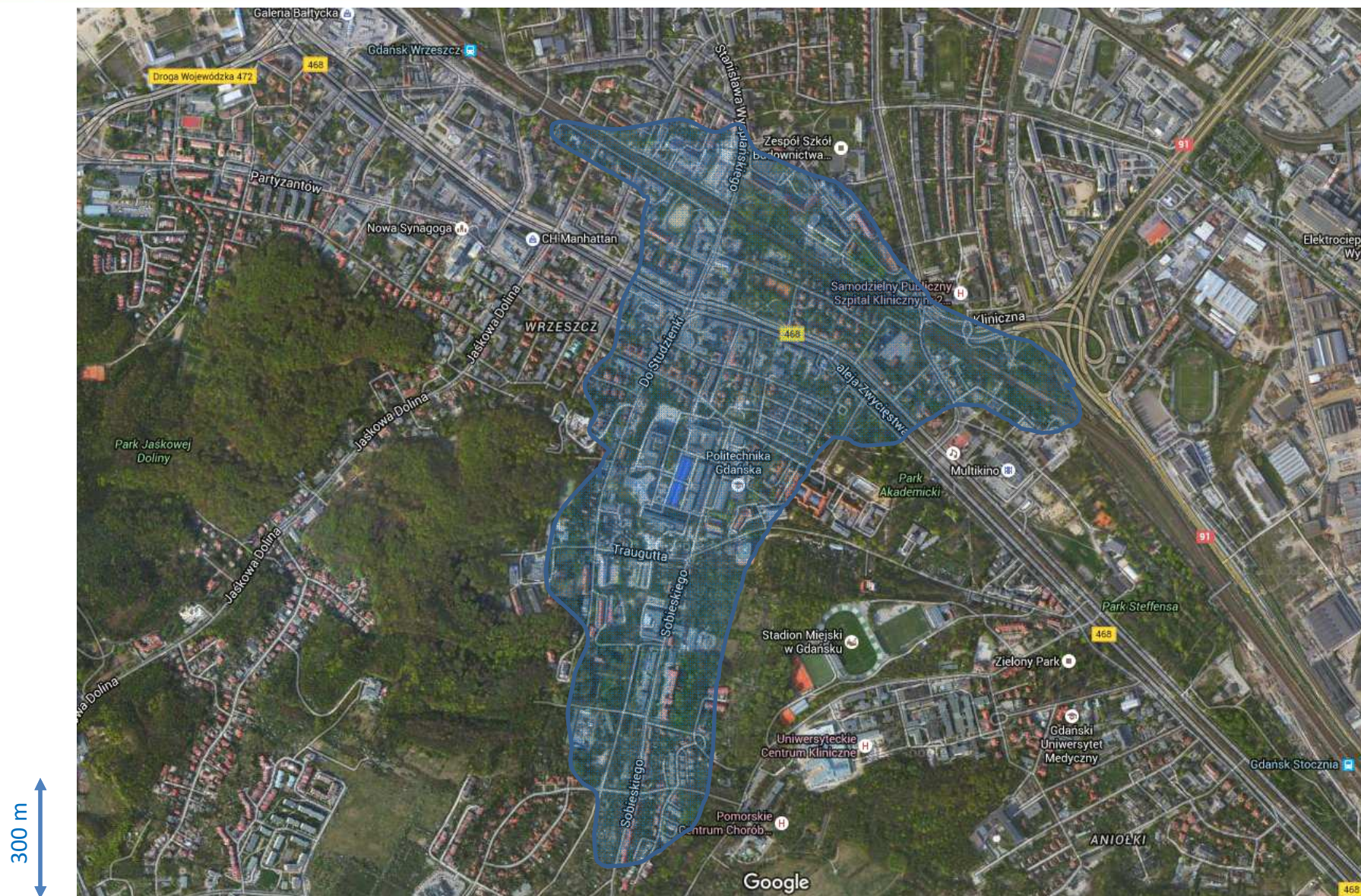


Lokalizacja: dzielnica Wrzeszcz



Widok na miejsca instalacji w otoczeniu Wydziału ETI PG



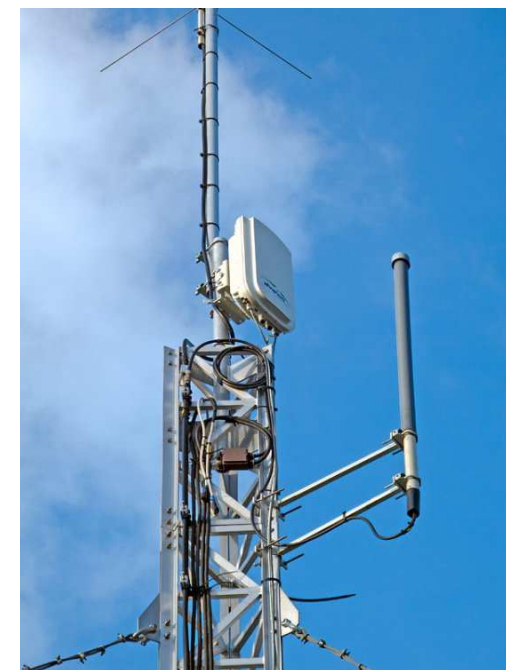
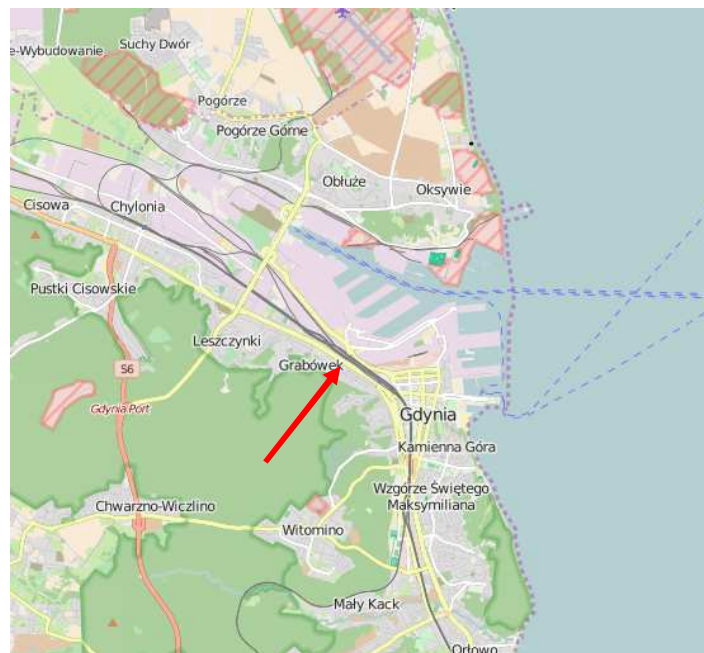


Lokalizacja: Gdynia (tereny portowe i zatoka Gdańska)



54 31' 25,08'' N
18 30' 49,94'' E

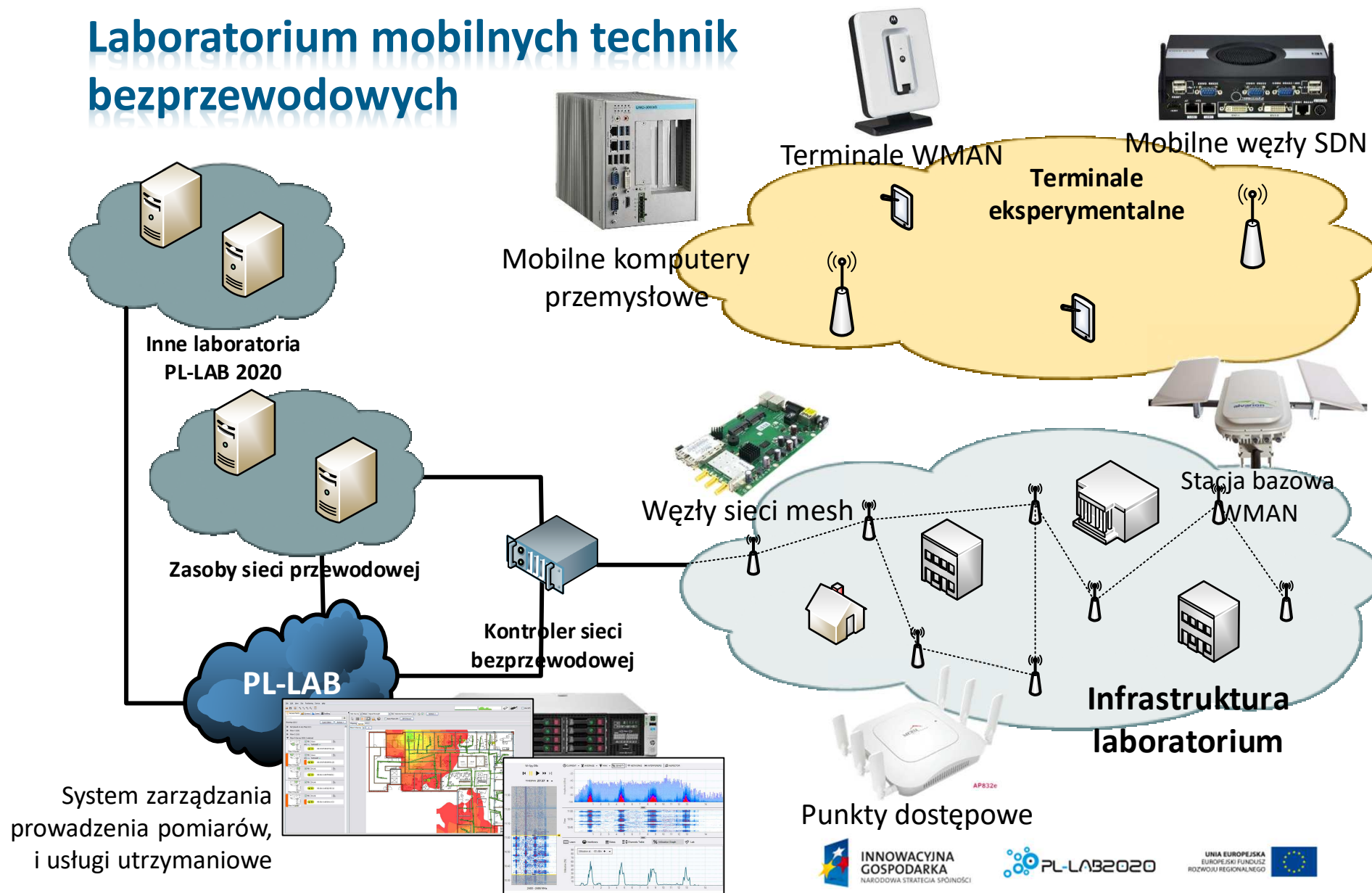
Podstawy masztów 80 m n.p.m.
Wysokość kratownic 12 m.



Stacja IMGW w okolicy portu Hel.

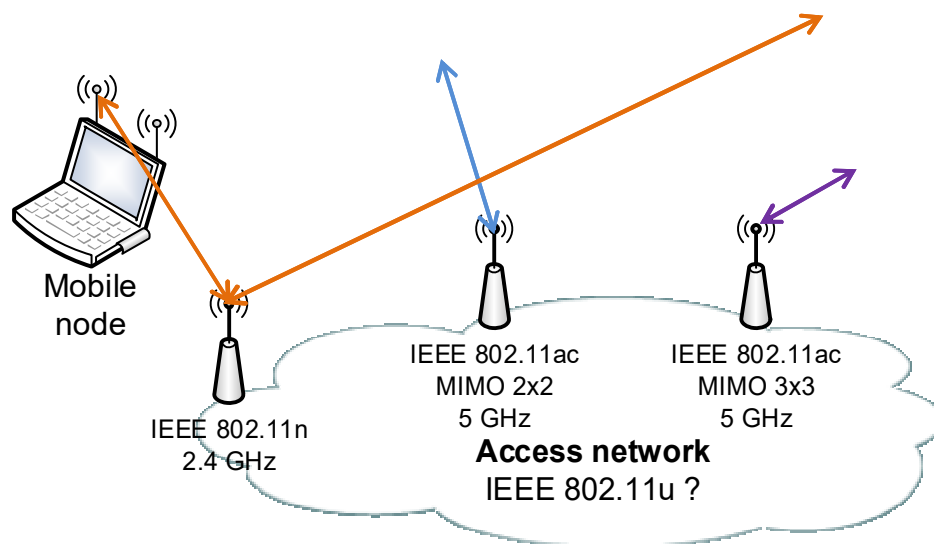


Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych



Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych – prowadzone eksperymenty

- Badania efektywności przełączania użytkownika mobilnego w heterogenicznym systemie dostępowym IEEE 802.11 a/g/n MIMO/ac MIMO
 - Efektywność przełączania między różnymi technikami
 - Reguły i mechanizmy wspomagające podejmowanie decyzji o przełączeniu w zależności w zależności od technik i scenariusza przełączenia



IEEE 802.11 - THE WLAN STANDARD was original 1 Mbit/s and 2 Mbit/s, 2.4 GHz RF and IR standard (1997)

IEEE 802.11a - 54 Mbit/s, 5 GHz standard (1999, shipping products in 2001)

IEEE 802.11b - Enhancements to 802.11 to support 5.5 and 11 Mbit/s (1999)

IEEE 802.11e - Enhancements: QoS, including packet bursting (2005)

IEEE 802.11g - 54 Mbit/s, 2.4 GHz standard (backwards compatible with b) (2003)

IEEE 802.11i - Enhanced security (2004)

IEEE 802.11T - Wireless Performance Prediction (WPP) - test methods and metrics recommend. (cancelled)

IEEE 802.11-2007 - A new release of the standard. Includes amendments a, b, d, e, g, h, i & j. (July 2007)

IEEE 802.11k - Radio resource measurement enhancements (2008)

IEEE 802.11n - Higher throughput improvements using MIMO (2009)

IEEE 802.11r - Fast roaming (2008)

IEEE 802.11s - ESS Extended Service Set Mesh Networking (2011)

IEEE 802.11u - Interworking with non-802 networks (for example, cellular) (2011)

IEEE 802.11v - Wireless network management (2011)

IEEE 802.11w - Protected Management Frames (2009)

IEEE 802.11-2012: A new release of the standard that includes amendments k, n, p, r, s, u, v, w, y and z (March 2012)

IEEE 802.11aa - Robust streaming of Audio Video Transport Streams (June 2012)

IEEE 802.11ad - Very High Throughput 60 GHz (Dec 2012)

IEEE 802.11ae - Prioritization of management frames (Mar 2012)

IEEE 802.11ac - Very High Throughput <6 GHz (~Feb 2014)

IEEE 802.11af - TV Whitespace (~Jun 2014)

IEEE 802.11ah - Sub 1 GHz (~Jan 2016)

IEEE 802.11ai - Fast Initial Link Setup (~Feb 2015)

IEEE 802.11aq - Pre-association Discovery (~May 2015)

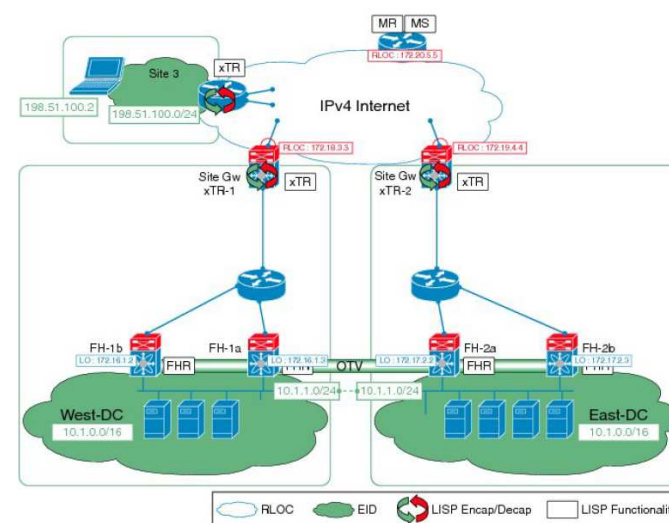
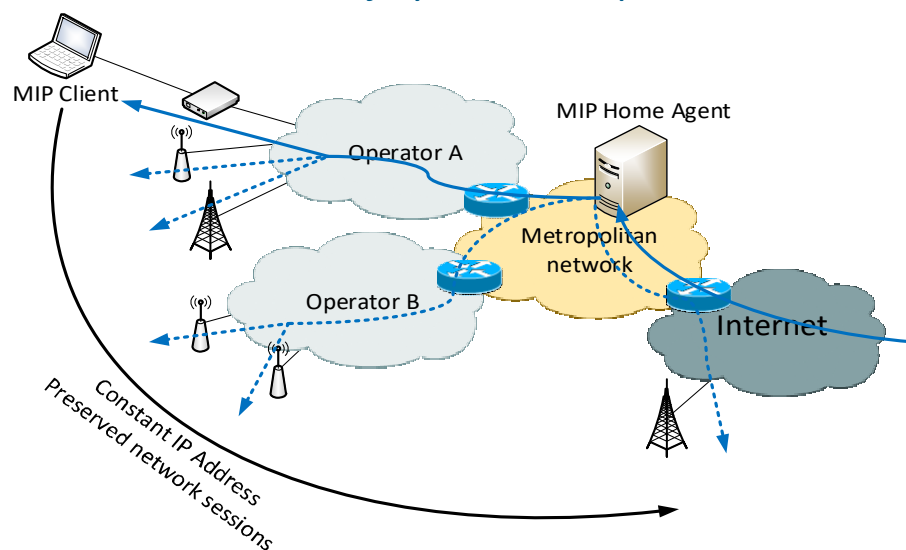
Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych prowadzone eksperymenty

- Badania charakterystyki użytkowej sieci standardu IEEE 802.11ac MIMO: *kanały 160 MHz, MU-MIMO / SDMA, 256-QAM, Clear-Channel Assessment, ...*
- Badania wpływu koegzystencji niezależnych sieci dostępowych IEEE 802.11a/g/n MIMO/ac MIMO na efektywność transmisji w poszczególnych sieciach
- Weryfikacja domyślnych preferencji wyboru sieci IEEE 802.11a/g/n MIMO/ac MIMO podczas przełączenia
 - Określenie zbioru informacji pożądaných przy podejmowaniu decyzji o przełączeniu



Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych – prowadzone eksperymenty

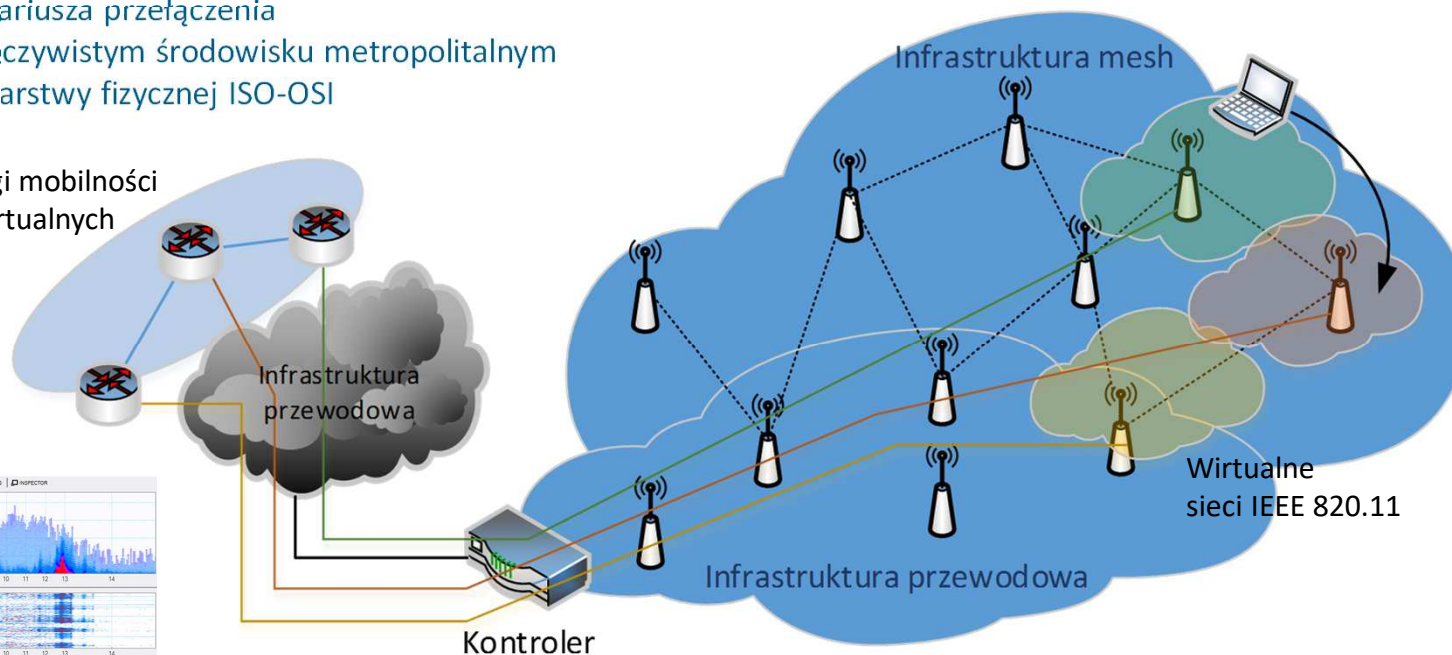
- Badania mechanizmów integracji sieci dla potrzeb obsługi użytkowników mobilnych
 - Począwszy od generacji 4G, duży nacisk położono na integrację z systemem rozwiązań zewnętrznych, korzystających z protokołu IP, w tym WLAN/WMAN, a nawet sieci przewodowych.
 - Jeden z ważniejszych nurtów prac w ramach standaryzacji 5G.



Laboratorium mobilnych technik bezprzewodowych – prowadzone eksperymenty

- Badania efektywności przełączania użytkownika mobilnego w heterogenicznym systemie dostępowym IEEE 802.11 a/g/n/ac
 - Rozwój standardu IEEE czyni sieć zrealizowaną z wykorzystaniem różnych jego odmian **systemem heterogenicznym**
 - Efektywność przełączania między różnymi technikami
 - Reguły i mechanizmy wspomagające podejmowanie decyzji o przełączeniu w zależności od technik i scenariusza przełączenia
 - Badania w rzeczywistym środowisku metropolitalnym
 - Pomiary od warstwy fizycznej ISO-OSI

Urządzenia obsługi mobilności
podłączone do wirtualnych
sieci IEEE 802.11

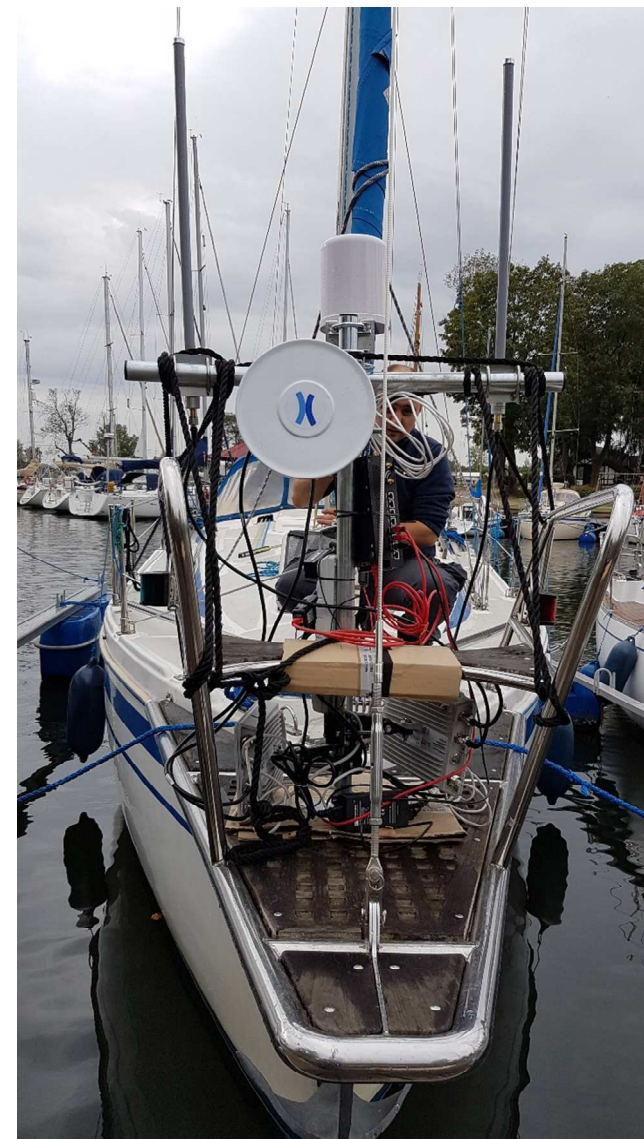


Zbieranie wyników pomiarów
i monitorowanie środowiska radiowego

Inne obszary badawcze



- Projekt netBaltic - Realizacja wielosystemowej, samoorganizującej się szerokopasmowej sieci teleinformatycznej na morzu dla zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi poprzez rozwój usług e-nawigacji



Inne obszary badawcze

- Wszechobecność dostępu sieciowego
 - Integracja systemów dostępowych – kontynuacja trendu zapoczątkowanego w systemach 4G i kontynuowana w 5G
 - Bezpośrednia komunikacja klient-klient w sieciach dostępowych
 - Sieci samoorganizujące o dynamicznej strukturze
 - Elastyczność infrastruktury systemów dostępowych: wirtualizacja w bezprzewodowej sieci dostępowej, SDN w domenie bezprzewodowej sieci dostępowej
- Uniezależnienie dostępu do usług od wykorzystywanej techniki dostępowej
 - Obsługa mobilności w warstwie sieciowej i łącza danych oraz z wykorzystaniem rozwiązań SDN
 - „Zero-second” handover
- Usługi sieciowe i aplikacyjne dla użytkowników mobilnych
 - Usługi lokalizacyjne w dynamicznie tworzonej sieci wieloskokowej
 - Aplikacje użytkowe dedykowane użytkownikom mobilnym
- Mobilność elementów infrastruktury sieci
 - Mobilne punkty dostępowe (fizyczne i wirtualne)
 - Prywatne sieci mobilne
- Sieci typu „delay-tolerant”
 - Routing w samoorganizującej sieci wieloskokowej, przy ograniczonej informacji o strukturze sieci
- Zachowania niekooperacyjne w sieciach wieloskokowych
- Wpływ nowych technik komunikacyjnych na zajętość pasma radiowego
- **Weryfikacja dowolnych mechanizmów sieciowych i usługowych w rzeczywistym środowisku miejskim**

POIG.02.03.01-00-104/13-00



**INFRASTRUKTURA BADAWCZA
DLA BADAŃ W OBSZARZE PROGRAMU HORYZONT 2020**

PARTNERZY



Politechnika
Wrocławska



Projekt i publikacja współfinansowane ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego