

# *Aktywność Instytutu Łączności na rzecz rozwoju nowoczesnych systemów i technik satelitarnych*

*Krzysztof Bronk*

*Adam Lipka*

*Michał Marszałec*

*Rafał Niski*

*Od momentu przystąpienia Polski do Europejskiej Agencji Kosmicznej, zainteresowanie krajowych firm i instytucji segmentem technik i systemów satelitarnych znacząco wzrosło. W niniejszym artykule opisano działania Instytutu Łączności – Państwowego Instytutu Badawczego (IŁ) na tym polu na przestrzeni kilku ostatnich lat. Poszczególne części publikacji poświęcone są osobnym obszarom tematycznym podejmowanym przez IŁ, w tym: badaniom dostępności sygnałów GNSS na terenie Polski, standaryzacji i rozwojowi nowego systemu łączności na morzu VDES, pracom związanym z opracowaniem koncepcji polskiego satelity AIS/VDES oraz metrologii czasu.*

*system satelitarny, nawigacja satelitarna, satelita, GNSS, VDES, metrologia czasu*

## **Wprowadzenie**

W ostatnich kilku latach zaobserwować można znaczący wzrost aktywności polskich firm i instytucji w szeroko rozumianym sektorze technologii i systemów satelitarnych. Bez wątplenia ma to ściśle związek z przystąpieniem w 2012 roku naszego kraju do Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA), co otworzyło Polsce dostęp do projektów i programów badawczych finansowanych przez ESA, w tym do tzw. programów opcjonalnych (np. z rodziny ARTES), czy prac badawczych dedykowanych wyłącznie podmiotom z Polski (program *Polish Industry Incentive Scheme*). Należy zauważyć, że pojęcie technologii i systemów satelitarnych jest bardzo pojemne i obejmuje m.in. kwestie związane z rozwojem i wykorzystaniem systemów nawigacji satelitarnej, projektowanie i eksploatację satelitów komunikacyjnych, wytwarzanie komponentów niezbędnych do funkcjonowania segmentu naziemnego i/lub kosmicznego systemów satelitarnych, zastosowania typu: obserwacja Ziemi, badania kosmosu czy metrologia czasu, zarządzanie i gospodarowanie zasobami widmowymi/orbitalnymi i wiele innych. Jest to zatem obszar atrakcyjny z czysto naukowego punktu widzenia, ale również stanowi on ważny element wpływający na rozwój polskiej gospodarki. Polskie podmioty, mając dostęp do projektów finansowanych przez ESA, zdobywają niezbędne doświadczenia, budują swoje kompetencje i wyrabiają markę, co może się przełożyć na nawiązanie w przyszłości współpracy z największymi europejskimi „graczami” na tym rynku i w konsekwencji możliwość zaangażowania w znacznie bardziej wymagające projekty. Znaczenie technik satelitarnych jako czynnika stymulującego rozwój gospodarki zostało dostrzeżone również przez naszą administrację, czego przejawem było przyjęcie w ubiegłym roku Polskiej Strategii Kosmicznej wyznaczającej zadania i definiującej plany dla polskiego sektora kosmicznego w perspektywie roku 2030.

Segment satelitarny od kilku lat stanowi ważne pole aktywności Instytutu Łączności – Państwowego Instytutu Badawczego (IŁ). Od roku 2016 w Zakładzie Systemów i Sieci Bezprzewodowych w Gdańsku (Z-8) funkcjonuje Pracownia Systemów i Technik Satelitarnych, która zajmuje się wyłącznie omawianą tematyką. Prace związane z różnymi aspektami segmentu kosmicznego podejmują jednak również inne jednostki. Oprócz udziału w typowych projektach badawczych, IŁ wspiera również

polską administrację (w szczególności Ministerstwo Cyfryzacji) na polu eksperckim czy doradczym. Pracownicy Instytutu m.in. brali udział w pracach grupy roboczej opracowującej wspomnianą już powyżej Polską Strategię Kosmiczną.

90-lecie Instytutu Łączności stanowi dobrą okazję, aby podsumować jego ostatnią aktywność na polu systemów i technik satelitarnych, i taki właśnie jest cel niniejszego artykułu. Zostaną w nim omówione najciekawsze zrealizowane prace, ujęte w cztery główne bloki tematyczne:

- badania jakości i dostępności systemów GNSS (w szczególności Galileo) w Polsce i Europie,
- udział IŁ w rozwoju systemów łączności satelitarnej na potrzeby e-nawigacji,
- polski satelita AIS/VDES,
- wykorzystanie systemów łączności i nawigacji satelitarnej w metrologii czasu.

Należy podkreślić, iż niniejszy artykuł nie ma charakteru stricte naukowego (co wynika też z ograniczonej ilości miejsca), jednak autorzy podjęli starania, aby w sposób wyczerpujący nakreślić główne kierunki prac i ich tło, wskazać wkład IŁ, a także zaprezentować osiągnięte (bądź oczekiwane) produkty.

## Badania jakości i dostępności systemów GNSS na terenie Polski i Europy

W związku z uruchomieniem pierwszych funkcjonalności systemu Galileo w 2016 roku, w ramach umowy dotacji celowej zawartej pomiędzy Ministerstwem Cyfryzacji a Instytutem Łączności prowadzono prace badawczo-rozwojowe w zakresie systemów łączności satelitarnej oraz systemu GNSS-Galileo. W ramach tych prac przeprowadzono szeroko zakrojoną kampanię pomiarową, której celem była weryfikacja dostępności sygnałów Galileo oraz ich porównanie z innymi systemami GNSS (GPS, GLONASS) w wybranych środowiskach propagacyjnych w Polsce.

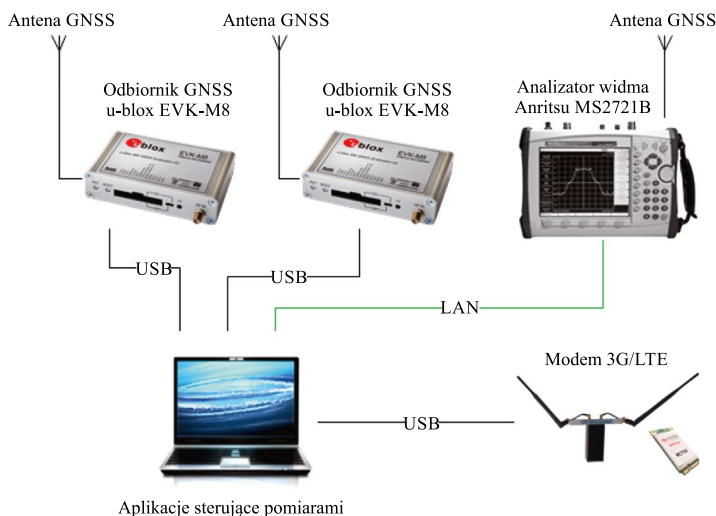
W ramach prowadzonych prac, w pierwszej kolejności opracowano metodykę pomiarową, zakładającą użycie odbiornika sygnałów GNSS wspierającego usługę *Galileo Open Service* (pasmo E1: 1575,42 MHz) oraz umożliwiającego wybór konkretnego systemu nawigacji satelitarnej. Do pomiarów wybrano odbiornik EVK-M8 firmy u-blox [1], który jako jeden z nielicznych dostępnych w obecnym czasie na rynku miał taką funkcjonalność. Ze względu na różnorodność warunków propagacyjnych występujących przy odbiorniku w łączu satelita-Ziemia oraz fakt, że zasięg (tzw. *footprint*) satelitów Galileo [2]-[4] obejmuje obszar dużo większy od powierzchni całej Polski, zdecydowano się wykonać pomiary sygnału z satelitów w następujących środowiskach propagacyjnych:

- strefa przybrzeżna,
- środowisko otwarte (wiejskie),
- środowisko podmiejskie,
- środowisko miejskie,
- środowisko wielkomiejskie,
- obszary leśne,
- obszary górzyste.

Ponieważ czas widoczności jednego satelity Galileo z danego punktu na Ziemi w zależności od aktualnego układu konstelacji wynosi od kilku do kilkunastu godzin, założono, że czas trwania pojedynczego pomiaru powinien umożliwić rejestrację przynajmniej jednego satelity w pełnym okresie jego widoczności. Przyjęto więc, że pomiary w każdej lokalizacji będą trwały od 2-3 dni.

W celu zbadania zachowania systemu GNSS Galileo oraz porównania wybranych parametrów systemu z wynikami osiąganymi przez systemy GPS oraz GLONASS, opracowane zostało stanowisko pomiarowe, składające się z aparatury dostosowanej do pracy z systemami nawigacji satelitarnej oraz autorskiego oprogramowania automatyzującego pomiary, przygotowanego w Instytucie Łączności w Gdańsku. Schemat zaprojektowanego mobilnego stanowiska pomiarowego GNSS został przedstawiony na rys. 1 [5], [6].

W skład stanowiska pomiarowego wchodził laptop, dwa odbiorniki EVK-M8 firmy u-blox (w celu dodatkowego uśrednienia wyników), przenośny analizator widma, modem 3G/LTE, zestaw anten pomiarowych oraz układ zasilania. Urządzenia pomiarowe były sterowane poprzez dwie aplikacje. Aplikacja sterująca pomiarami GNSS umożliwiała realizację zdefiniowanych scenariuszy pomiarowych oraz informowała o stanie pomiaru i ewentualnych błędach, a dzięki połączeniu modemu 3G/LTE możliwe było wysyłanie cyklicznych raportów pomiarowych w postaci wiadomości e-mail. Równoległe z pomiarami jakościowymi prowadzone były pomiary zakłóceń/interferencji w paśmie L1/E1, które mogły mieć wpływ na uzyskiwane wyniki. Druga aplikacja nadzorowała więc automatyczne pomiary wykonywane przenośnym analizatorem widma. Stanowisko pomiarowe miało niewielkie rozmiary, które pozwoliły na zainstalowanie go w bagażniku samochodu pomiarowego, przy czym wszystkie anteny pomiarowe (tj. odbiorników GNSS, skanera widma) były umieszczone na dachu pojazdu. Podstawowym źródłem zasilania zestawu pomiarowego był akumulator żelowy oraz elektroniczna przetwornica, które pozwalały na nieprzerwaną pracę stanowiska przez kilkanaście godzin w miejscach, gdzie nie było możliwości doprowadzenia do samochodu pomiarowego zewnętrznego źródła zasilania 230 V.



**Rys. 1.** Schemat mobilnego stanowiska pomiarowego wykorzystywanego do pomiarów systemu GNSS Galileo

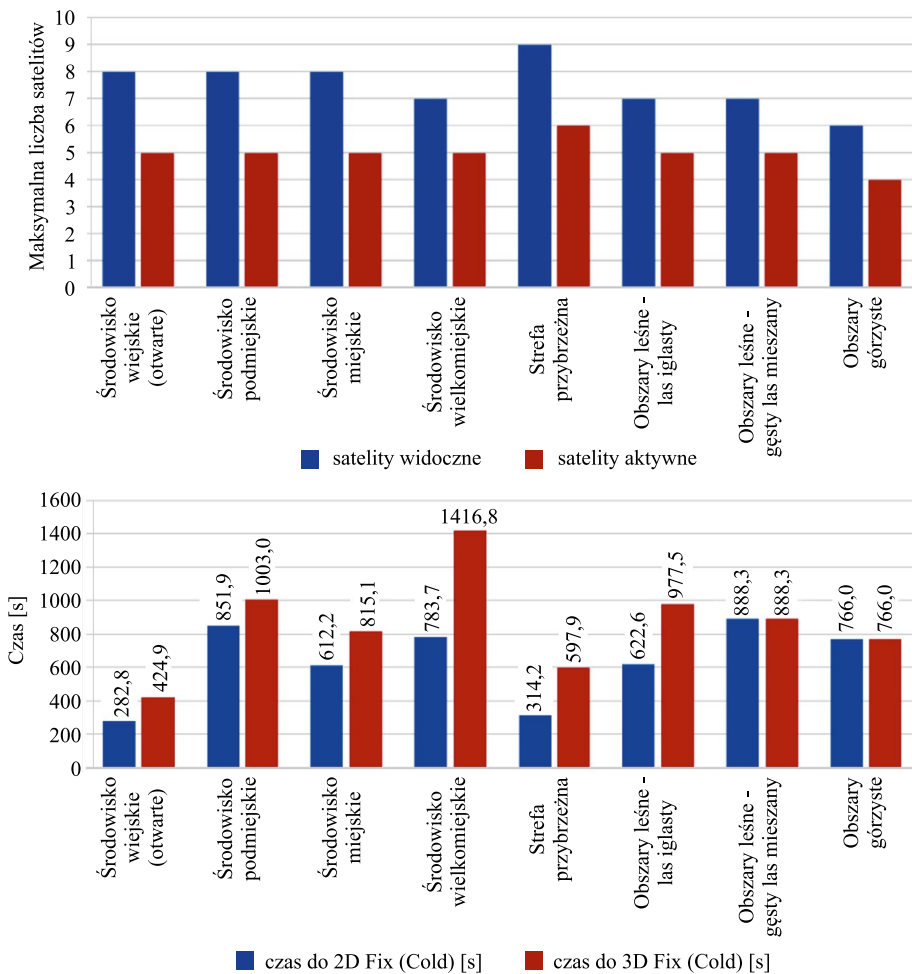
Przeprowadzona kampania pomiarowa obejmowała 2 typy pomiarów: krótkookresowe (2-3 dni) w wybranych środowiskach propagacyjnych oraz długookresowe (ok. 1 miesiąc) w jednej lokalizacji. Jako lokalizację do pomiarów długookresowych wykorzystano dach budynku głównego Instytutu Łączności w Gdańsku, który ze względu na swoje usytuowanie znajduje się powyżej linii otaczającej go zabudowy miejskiej. Ponadto oba typy pomiarów prowadzone były w tym samym czasie, co dodatkowo pozwoliło na porównanie uzyskanych wyników.

W trakcie całej kampanii pomiarowej w pętli powtarzane były 4 scenariusze pomiarowe: dwa obejmowały systemy GNSS (GPS, GLONASS, EGNOS) i zakładały tzw. zimny i gorący tryb startu odbiornika (*Cold Start* i *Hot Start*), a dwa kolejne scenariusze obejmowały system Galileo również w obu trybach startu odbiornika. Czas trwania scenariuszy pomiarowych został tak dobrany, aby cała seria trwała co najwyżej 60 minut.

Kampania pomiarowa odbyła się w okresie od 11.10.2016 r. do 16.11.2016 r. i w trakcie jej trwania na orbitach znajdowało się 18 satelitów Galileo, z czego 11 było w pełni operacyjnych, 2 były w trakcie testowania, 4 w fazie uruchamiania a 1 był nieaktywny [7]. Pomiarów w środowisku wiejskim (otwartym), podmiejskim oraz miejskim zostały przeprowadzone w okolicach Gdańska, natomiast pomiary w środowisku wielkomiejskim zrealizowano w centrum Warszawy, zaś pomiary w strefie przybrzeżnej Morza Bałtyckiego odbyły się w Chałupach. Z kolei badania w obszarach leśnych zostały przeprowadzone w Borach Tucholskich niedaleko miejscowości Steżyca (las iglasty) oraz w Bieszczadach niedaleko miejscowości Muczne (gęsty las mieszany), zaś pomiary w środowisku górskim zrealizowano w Kuźnicach. Podczas całej kampanii wykonano łącznie 6731 pełnych scenariuszy pomiarowych (w tym 4928 w ramach pomiarów długookresowych), które obejmowały całkowity czas 1255 godzin i 56 minut (w tym 919 godzin i 25 minut w ramach pomiarów długookresowych). Analiza wyników mobilnego skanera częstotliwości pokazała, że podczas pomiarów we wszystkich środowiskach propagacyjnych nie zarejestrowano występowania żadnych interferencji w paśmie L1/E1 przewyższających czułość zestawu pomiarowego.

Uzyskane wyniki pomiarów dostępności i jakości sygnałów Galileo pozwoliły na dokonanie porównania pomiędzy tymi środowiskami oraz porównanie pomiędzy systemem Galileo a innymi systemami GNSS (GPS, GLONASS). Na rys. 2 pokazano przykładowe wyniki uzyskane dla poszczególnych środowisk propagacyjnych [5], [6].

Maksymalna liczba widocznych (aktywnych) satelitów Galileo, których sygnały odbiornik był w stanie odebrać, wahała się od 6 do 9 (aktywnych od 4 do 6), podczas gdy w przypadku systemów GPS, GLONASS i EGNOS, liczba satelitów widocznych mieściła się w przedziale od 25 do 35, a aktywnych od 12 do 22. Należy jednak podkreślić, że w trakcie wykonywania pomiarów konstelacja systemu Galileo nie była kompletna [8], podczas gdy drugie rozwiązanie korzystało z dwóch kompletnych konstelacji systemów satelitarnych (GPS i GLONASS) oraz dodatkowo satelitarnego systemu wspomagającego EGNOS [9]. Ustalenie pozycji tylko za pomocą systemu Galileo było możliwe prawie we wszystkich analizowanych typach środowisk, przy czym procent czasu, w którym udało się ustalić pozycję odbiornika, był mocno zależny od rodzaju środowiska i wynosił on w najlepszym przypadku 64%, a w najgorszym tylko 1%. Dla porównania, we wszystkich lokalizacjach pomiarowych odbiornik działający w trybie współpracy systemów GPS, GLONASS i EGNOS był w stanie określić pozycję przez cały czas trwania pomiarów. Podobne wnioski można wysnuć również z analizy czasu potrzebnego do ustalenia pozycji przez odbiornik, gdzie zależność od rodzaju środowiska jest także widoczna. 3D Fix w trybie *Cold Start* osiągniany był najszybciej w środowisku wiejskim (ok. 424 s), najwolniej zaś – w środowisku wielkomiejskim (ok. 1417 s). Dla porównania w przypadku odbiornika



**Rys. 2.** Przykładowe wyniki zrealizowanej kampanii pomiarowej obrazujące porównanie liczby widocznych satelitów Galileo (na górze) oraz czasu potrzebnego do ustalenia pozycji (2D/3D Fix) w systemie Galileo w trybie Cold Start (na dole) dla poszczególnych środowisk propagacyjnych

działającego w trybie wielu systemów GNSS (GPS, GLONASS i EGNOS) czasy te wynosiły średnio od 24 do 35 s w trybie *Cold Start*. W trakcie pomiarów zaobserwowano nieznaczne różnice w stosunku mocy nośnej do mocy szumu  $C/N_0$  pomiędzy systemami Galileo oraz GPS, GLONASS i EGNOS, natomiast zauważalny był wpływ typu środowiska propagacyjnego na tłumienie sygnałów pochodzących od satelitów. Największe tłumienie występowało w obszarach leśnych oraz w środowisku wielkomiejskim, gdzie widoczne były znaczne wahania poziomu odbieranego sygnału.

Zaobserwowane różnice w działaniu systemu nawigacji satelitarnej Galileo w różnych środowiskach propagacyjnych potwierdziły zasadność zastosowanej metodyki pomiarowej. Pewne efekty wpływające niekorzystnie na odbiór sygnału systemów GNSS nasilały się w niektórych środowiskach – można tu wyróżnić:

- zmniejszenie widoczności satelitów na pewnych azymutach i niskich elewacjach (spowodowane przeszkodami),
- tłumienie sygnału (spowodowane np. przez roślinność),
- efekt wielodrogowości (spowodowany odbiciami i ugięciami fal radiowych na przeszkodach).

Niepełna konstelacja satelitów Galileo może dodatkowo potęgować wpływ powyższych efektów na jakość odbieranego sygnału, ale w związku z dynamicznym rozwojem systemu w niedalekiej przyszłości ich wpływ może zostać znacząco ograniczony. W chwili przygotowywania artykułu (czerwiec 2018 r.) na orbitach znajdowały się już 22 satelity Galileo, z czego 14 było w pełni operacyjnych, 2 były w trakcie testowania, 4 w fazie uruchamiania a 2 były nieaktywne [7]. Przewidywany termin osiągnięcia pełnej operacyjności systemu Galileo to rok 2020 [10], [11], jednak niezależnie od tego uruchamianie są sukcesywnie kolejne funkcjonalności systemu Galileo.

W 2016 r. Europejska Agencja ds. Globalnych Systemów Nawigacji Satelitarnej (*European GNSS Agency – GSA*) ogłosiła konkurs *Joint Test Activities*, dotyczący testów i pomiarów usługi PRS (*Public Regulated Service*) systemu Galileo. Konkurs został rozstrzygnięty w 2018 roku i w czerwcu 2018 r. rozpoczęto realizację trzech projektów w ramach międzynarodowych konsorcjów, przy czym IŁ jest członkiem dwóch z nich. Pierwszy z projektów, *PRS Pilot Project for Demonstration* (akronim: 3PFD) jest koordynowany przez Royal Military Academy z Belgii. Celem projektu są pomiary jakości usługi PRS w systemie Galileo oraz jego odporności na celowe zakłócenia. W ramach projektu planowane jest uczestnictwo IŁ w zadaniach związanych z obserwacją, wykrywaniem i identyfikacją różnego typu zakłóceń, które pojawiają się w pasmach częstotliwościowych wykorzystywanych przez systemy nawigacji satelitarnej. Planowany jest również udział IŁ jako obserwatora w testach, które będą realizowane przez pozostałych partnerów w ramach projektu. Drugi projekt, *GNSS Interference Monitoring and Mitigation for Endusers – PRS* (akronim: GIMME PRS), jest koordynowany przez CPA Polska (*Competent PRS Authority*) działające w ramach Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji. Celem projektu są pomiary jakości usługi PRS w systemie Galileo oraz jego odporności na celowe zakłócenia. Głównym zadaniem IŁ w projekcie jest realizacja szeroko zakrojonej kampanii pomiarowej realizowanej w różnych środowiskach propagacyjnych w Polsce, której celem będzie porównanie jakości usługi PRS Galileo z innymi darmowymi usługami oferowanymi w ramach ogólnodostępnych systemów GNSS (m.in. GPS, *Open Service Galileo*). W planowanych pomiarach zakłada się wykorzystanie tych samych lokalizacji i opracowanej metodyki, które zostały opisane powyżej. Przewidywane jest również przeprowadzenie przez IŁ pomiarów porównujących odporność odbiorników PRS Galileo i innych odbiorników GNSS na celowe zakłócenia.

## Systemy łączności satelitarnej na potrzeby e-nawigacji

### *Standaryzacja systemu VDES*

System Automatycznej Identyfikacji (*Automatic Identification System – AIS* [12]) jest ważnym i szeroko rozpoznawanym oraz akceptowanym rozwiązaniem wspierającym bezpieczną nawigację na morzu. Wraz jednak ze wzrostem zainteresowania cyfrową transmisją danych w paśmie VHF system AIS stał się bardzo intensywnie wykorzystywanym łączem komunikacyjnym. Rezultatem tego jest obecnie duże obciążenie obu dostępnych kanałów (AIS 1 i 2) oraz rosnące zapotrzebowanie na nowe zasoby radiowe. Międzynarodowy Związek Telekomunikacyjny (*International Telecommunication Union – ITU*) dostrzegł potrzebę udostępnienia nowych kanałów radiowych dla celów realizacji cyfrowej transmisji danych w środowisku morskim i przydzielił dodatkowe zasoby w paśmie VHF

na te potrzeby. Na tym etapie powstała również sama koncepcja systemu VDES (*VHF Data Exchange System*), która została opracowana przez Międzynarodowe Stowarzyszenie Służb Oznakowania Nawigacyjnego (*International Association of Marine Aids to Navigation and Lighthouse Authorities* – IALA). Została ona następnie zaprezentowana na forum ITU jako rozwiązanie adresujące zarówno kwestie związane z wymaganą ochroną priorytetowego systemu AIS, ale przede wszystkim pozwalające na techniczną realizację idei e-nawigacji, a w przyszłości na wsparcie procesu modernizacji systemu GMDSS (*Global Maritime Distress and Safety System*).

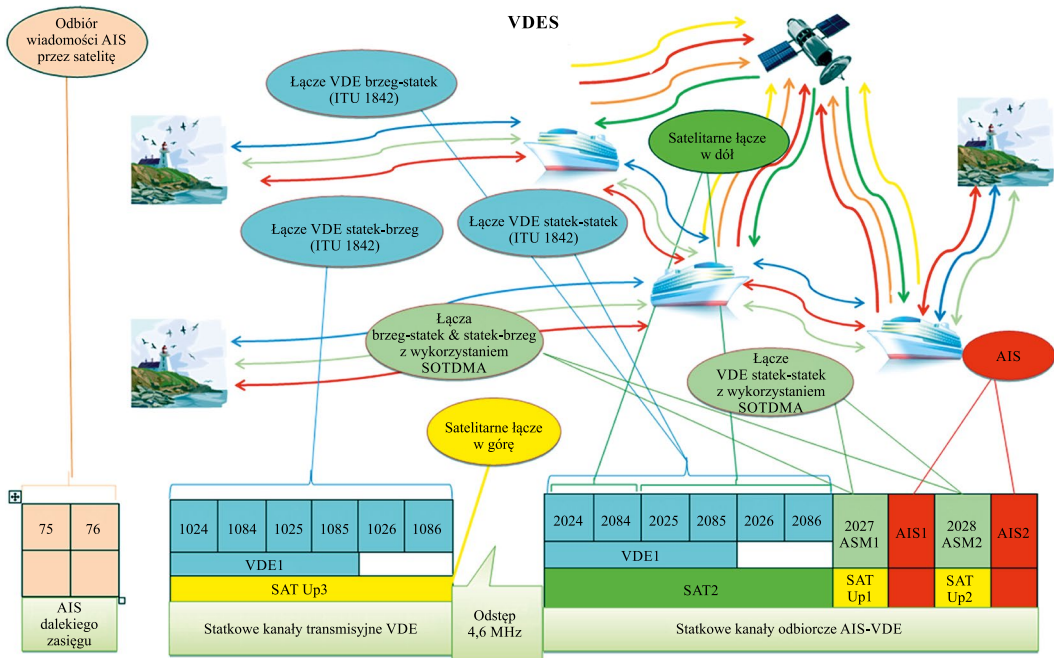
W morskim paśmie VHF współistnieje zarówno analogowa łączność głosowa, jak i cyfrowa transmisja danych. Przydział przez ITU nowych zasobów częstotliwościowych dla tego drugiego typu komunikacji oraz rozwój technologii radia definiowanego programowo w połączeniu z nowoczesnymi metodami efektywnego wykorzystania zasobów częstotliwościowych w kanałach VHF umożliwił rozwój koncepcji, jak i samego standardu systemu VDES. Rozwiązanie to czerpie bezpośrednio z doświadczeń systemu AIS, ale również z lądowych systemów trunkingowych i komórkowych. Umożliwia ono realizację łączności zarówno w trybie unicast oraz multicast, jak również broadcast. Możliwe do wykorzystania są następujące schematy komunikacyjne: statek-statek, statek-ład/satelita oraz ład/satelita-statek. System składa się z trzech głównych komponentów (patrz też rys. 3):

1. AIS (*Automatic Identification System*) – system działający obecnie zgodnie z Zaleceniem ITU-R M.1371-5,
2. ASM (*Application Specific Messages*) – wykorzystujący dodatkowe kanały radiowe do transmisji tzw. wiadomości ASM na potrzeby odciążenia systemu AIS,
3. VDE (*VHF Data Exchange*) – komponent na potrzeby realizacji trybu szybkiej transmisji danych (do 200 kb/s) składający się z dwóch segmentów: naziemnego (VDE-TER) oraz satelitarnego (VDE-SAT).

Z punktu widzenia możliwości technicznych, oferowanych szybkości transmisji, jak i poziomu zaawansowania w zakresie dostępnych technik transmisyjnych, najbardziej interesującym jest komponent VDE. Pozwala on na wykorzystanie trzech różnych szerokości kanałów: 25, 50 oraz 100 kHz, co w konsekwencji umożliwia pracę systemu z jedną z trzech różnych szybkości symbolowych, odpowiednio: 19,2, 38,4 oraz 76,8 ksym/s. W obecnej postaci standardu możliwe są do zastosowania również trzy schematy modulacyjne:  $\pi/4$ -QPSK, 8PSK oraz 16QAM. Komponent ten wykorzystuje ponadto takie rozwiązania techniczne jak: wielodostęp TDMA, turbokodowanie, skramblowanie, mechanizm adaptacyjnej modulacji i kodowania, kanały sterujące oraz zaawansowane mechanizmy alokacji zasobów (również na potrzeby współdzielenia zasobów przez segment naziemny i satelitarny).

Kanały systemu VDES wykorzystywane w segmencie naziemnym:

- AIS 1 (kanał 2087) i AIS 2 (kanał 2088) – obecnie wykorzystywane kanały AIS zgodnie z Zaleceniem ITU-R M.1371-5,
- ASM 1 (kanał 2027) i ASM 2 (kanał 2028) – kanały na potrzeby transmisji tzw. ASM (*Application Specific Messages*),
- VDE1-A lower legs (kanały 1024, 1084, 1025, 1085) – komunikacja statek-ład dla komponentu VDE,
- VDE1-B upper legs (kanały 2024, 2084, 2025, 2085) – komunikacja ład-statek i statek-statek dla komponentu VDE.



Rys. 3. Komponenty oraz zasoby radiowe systemu VDES [13]

Kanały systemu VDES wykorzystywane w segmencie satelitarnym:

- AIS 1 (kanał 2087) i AIS 2 (kanał 2088) – naziemne kanały AIS, wykorzystywane również do odbioru wiadomości AIS przez satelitę,
- Long Range AIS (kanały 75 i 76) – dedykowane kanały AIS na potrzeby łącza w górę do satelity,
- SAT Up1 (kanał 2027) i SAT Up2 (kanał 2028) – kanały na potrzeby odbioru wiadomości ASM przez satelitę (łącze w górę),
- SAT Up3 (kanały 1024, 1084, 1025, 1085, 1026 i 1086) – kanały wykorzystywane do komunikacji statek-satelita (łącze w górę) dla komponentu VDE,
- SAT Downlink (kanały 2024, 2084, 2025, 2085, 2026 i 2086) – kanały wykorzystywane do komunikacji satelita-statek (łącze w dół) dla komponentu VDE.

Kluczową w procesie standaryzacji systemu była Światowa Konferencja Radiokomunikacyjna (*World Radiocommunication Conference – WRC*) z roku 2015, której bezpośrednią konsekwencją było zatwierdzenie standardu VDES w formie Zalecenia ITU-R M.2092-0 [13]. W trakcie jej trwania nie udało się jedynie uzyskać aprobaty dla segmentu satelitarnego tego systemu. Ważna dla procesu standaryzacji stała się zatem następną edycja tej Konferencji (WRC-19), podczas której w ramach punktu Agendy 1.9.2 dyskutowane będą kwestie przydziału zasobów częstotliwościowych dla tego segmentu systemu.

Szczegóły techniczne związane z systemem VDES zawiera również dokument IALA [14], którego celem nie jest zastąpienie Zalecenia ITU, a raczej dostarczenie dodatkowych szczegółów niezbędnych dla implementacji i wdrożeń eksperymentalnych systemu. Jest to ponadto dokument roboczy rozwijany na potrzeby nowej wersji Zalecenia ITU-R M.2092, która zostanie opublikowane przez Grupę WP 5B (ITU) z uwzględnieniem rezultatów konferencji WRC-19.



Należy w tym miejscu podkreślić, iż IŁ bierze bardzo aktywny udział w procesie standaryzacji systemu VDES. Przedstawiciel Zakładu Systemów i Sieci Bezprzewodowych Instytutu Łączności w Gdańsku brał udział we wszystkich spotkaniach grupy roboczej odpowiedzialnej za ten proces w ramach Komitetu ENAV (IALA) od połowy roku 2015. Prace te były możliwe dzięki wsparciu realizowanego w Instytucie w ramach Programu Horyzont 2020 projektu EfficienSea 2 [15]. W trakcie jego trwania prowadzono prace koncepcyjne oraz badania zarówno symulacyjne [16], jak i pomiarowe [17] mające na celu weryfikację i testy warstwy fizycznej oraz łącza danych komponentu VDE systemu. Dalsza współpraca z IALA i udział w procesie standaryzacji VDES będą kontynuowane co najmniej do roku 2020 dzięki nowemu projektowi: R-mode Baltic (Interreg BSR), który realizowany jest przez Zakład Systemów i Sieci Bezprzewodowych od października 2017 roku.

Przewiduje się [13], że uruchamianie systemu VDES na świecie będzie przebiegało w następujących fazach operacyjnych:

- 2016: funkcjonuje system AIS zdefiniowany w Zaleceniu ITU-R M.1371-5 [12]. Nowe kanały przyszłego systemu VDES wykorzystywane są na potrzeby analogowej łączności głosowej.
- 2017–2018: regionalnie, tam gdzie występują potrzeby wynikające z przeciążenia kanałów AIS, możliwe będzie wykorzystanie do transmisji tzw. wiadomości ASM (*Application Specific Messages*) dwóch nowych kanałów: ASM1 i ASM2. W tym okresie dopuszczalne będzie wykorzystanie modulacji GMSK, której stosowanie nie będzie dozwolone od dnia 1 stycznia 2019 roku. Należy mieć tu również na uwadze konieczność współdzielenia w tym dwuletnim okresie kanałów ASM1 i ASM2 z brzegowymi stacjami wykorzystującymi te zasoby do analogowej łączności głosowej.
- 2019: na konferencji WRC podjęta zostanie decyzja odnośnie satelitarnego komponentu systemu VDES.
- 2019–2020 osiągnięcie możliwości operacyjnych naziemnego komponentu VDES. W niektórych regionach możliwe współdzielenie zasobów z brzegowymi stacjami łączności analogowej.
- 2021+: osiągnięcie pełnej (wraz z komponentem satelitarnym) operacyjności systemu VDES.

## Badania systemu VDES

Jak już wspomniano, w ostatnich latach Instytut Łączności prowadził szereg prac dotyczących przyszłego systemu VDES. Wiązało się to zarówno z aktywnością IŁ na forum IALA, jak również z projektami, w które Instytut był zaangażowany. Formuła niniejszego artykułu oczywiście nie pozwala na kompleksowe i pełne omówienie wyników tych prac, dlatego w tym miejscu ograniczymy się do najważniejszych ustaleń dotyczących zasięgu użytkowego systemu VDES. Poniższe rezultaty uzyskano w toku realizacji międzynarodowego projektu EfficienSea 2 (2015–2018), w którym oprócz IŁ brało udział ok. 30 partnerów z 12 krajów [15].

W pierwszym etapie prac wyznaczono teoretyczne zasięgi użytkowe systemu, posługując się w tym celu modelem propagacyjnym ITU-R P.1546-5 [18] i zakładając dwa warianty wysokości zawieszenia anteny: 18 i 23 m n.p.m. Na potrzeby symulacji rozważono dwa schematy modulacyjno-kodowe:

- schemat MCS-1, tj. modulacja  $\pi/4$ -QPSK i szerokość kanału 25 kHz,
- schemat MCS-5, tj. modulacja 16QAM i szerokość kanału 100 kHz.

Jak pokazały symulacje, maksymalny zasięg – ok. 62,9 km – jest osiągalny dla schematu MCS-1 przy wysokości anteny 23 m. Z kolei dla schematu MCS-5 i przy wysokości anteny 18 m uzyskano

najmniejszy teoretyczny zasięg wynoszący ok. 31 km. Na podstawie uzyskanych rezultatów można również stwierdzić, że zwiększenie wysokości anteny z 18 do 23 m, skutkowało zwiększeniem zasięgu o ok. 3 km. Wynik symulacji zasięgowych dla niższej z dwóch rozważanych wysokości anteny przedstawiono na rys. 4.

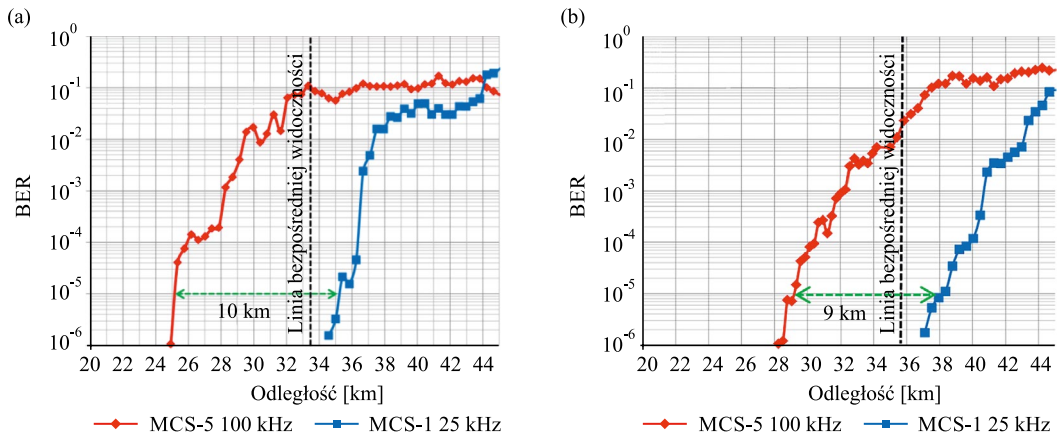


**Rys. 4.** Teoretyczne zasięgi użyteczne systemu VDES (MCS-1 i MCS-5) dla wysokości zawieszenia anteny 18 m

W ramach projektu EfficienSea 2 zrealizowano również kampanię pomiarową na wodach Morza Bałtyckiego, której wyniki pozwoliły na weryfikację uzyskanych rezultatów teoretycznych z wykorzystaniem symulatora warstwy fizycznej systemu VDES opracowanego przez IŁ w Gdańsku. W kampanii wzięły udział dwa statki (M/F Berlin i M/F Copenhagen) kursujące między portami Gedser (Dania) i Rostock (Niemcy) na trasie o łącznej długości ok. 48 km. Była to pierwsza na świecie testowa kampania pomiarowa warstwy fizycznej komponentu naziemnego systemu VDES.

Na rys. 5 przedstawiono zmierzone zasięgi użytkowe systemu VDES. Krzywe zostały wykreślone dla obu rozważanych poprzednio wysokości zawieszenia anten i schematów modulacyjno-kodowych MCS.

Na obu wykresach z rys. 5 zaznaczono dodatkowo maksymalną odległość linii bezpośredniej widoczności LOS (*line-of-sight*), która została obliczona na podstawie znajomości odległości horyzontu radiowego dla nadajnika i odbiornika (szczegóły tych obliczeń można znaleźć np. w artykule [17]). Generalnie zaobserwowano, iż w przypadku scenariusza LOS występuje zadowalająca zbieżność między zasięgami teoretycznymi i rzeczywistymi, co w dużej mierze wynika z faktu, że dla LOS zasięg systemu ograniczony jest głównie przez czułość odbiornika oraz szum AWGN. Pewne niewielkie rozbieżności pomiędzy danymi teoretycznymi a pomiarowymi w tym przypadku mogły wynikać z szumów wytwarzanych przez człowieka (*man-made noise*) czy też interferencji z systemami pochodzącymi z innych statków.



**Rys. 5.** Zasięgi użytkowe systemu VDES dla MCS-1 oraz MCS-5 przy zawieszeniu anteny na wysokości: a) 18 m, b) 23 m

Z odmienną sytuacją mieliśmy do czynienia w przypadku przekroczenia linii horyzontu radiowego (a więc dla scenariusza NLOS – *non-line-of-sight*). Tym razem zaobserwować można było dość wyraźnie różnice między danymi pomiarowymi a teoretycznymi, które sięgały nawet 20 km. Jednym z powodów takiej sytuacji jest fakt, iż model ITU-R P.1546-5 uwzględnia tylko wzrost tłumienia ze względu na przekroczenie horyzontu radiowego, ale nie obejmuje on zaników sygnału i innych istotnych efektów, które mają duże znaczenie w przypadku transmisji w warunkach braku bezpośredniej widoczności.

W tym miejscu warto raz jeszcze podkreślić, że zarówno powyższe, jak i inne badania prowadzone przez IŁ, zostały wykorzystane w procesie standaryzacji systemu VDES na forum IALA.

## Prace związane z budową polskiego satelity AIS/VDES

W latach 2016–2017 IŁ brał udział w realizacji fazy A projektu SAT-AIS-PL. Projekt ten był finansowany przez ESA w ramach programu *Polish Industry Incentive Scheme*, zaś jego głównym celem było wykonanie studium wykonalności satelity komunikacyjnego przeznaczonego do zbierania danych z systemu automatycznej identyfikacji statków AIS (*Automatic Identification System*) na potrzeby monitoringu i nadzoru bezpieczeństwa ruchu morskiego. Należy podkreślić, iż w przypadku zbudowania i umieszczenia na orbicie, SAT-AIS-PL byłby pierwszym polskim użytkowym satelitą komercyjnym (dotychczasowe polskie satelity były bowiem budowane przez Politechnikę Warszawską i Centrum Badań Kosmicznych, tj. jednostki naukowe, i ich przeznaczenie było stricte badawcze).

Projekt SAT-AIS-PL był realizowany w konsorcjum złożonym z siedmiu partnerów: Creotech Instruments (jako lider), a także Hertz Systems i Atos Polska (firmy komercyjne) oraz IŁ, Centrum Badań Kosmicznych, Akademia Morska w Gdyni i Śląskie Centrum Naukowo-Technologiczne Przemysłu Lotniczego (instytucje naukowe). Z ramienia IŁ w prace projektowe zaangażowany był zespół z Zakładu Systemów i Sieci Bezprzewodowych w Gdańsku. Zgodnie z założeniami satelita SAT-AIS-PL ma być zrealizowany zgodnie z koncepcją tzw. mikrosatelity (waga ok. 50 kg, wymiar: sześciąt o boku ok. 40 cm) i wykorzystywać orbitę LEO (500–900 km). Głównym ładunkiem (tzw. *payload*)

umieszczonym na pokładzie satelity oprócz odbiornika sygnałów AIS miał być transceiver zgodny z aktualną wersją standardu VDES.

Warto w tym miejscu rozszerzyć informacje podane wcześniej i przypomnieć, iż system AIS służy do śledzenia jednostek pływających i wymiany informacji pozwalających na zapobieganie kolizjom między statkami. Działanie systemu bazuje na wykorzystaniu transponderów pracujących w morskim paśmie VHF (156–162 MHz, szerokość kanału 25 kHz), które z określoną częstotliwością wysyłają zbiór danych identyfikujących dany statek (pozycja, informacje z czujników, nazwa statku, numer MMSI, port docelowy, liczba osób na pokładzie itp.). Dane te są odbierane przez sąsiednie statki i lądowe stacje kontroli ruchu. Zgodnie z konwencją SOLAS, system AIS jest obowiązkowy na wszystkich statkach w ruchu międzynarodowym o pojemności brutto 300 ton i więcej oraz na wszystkich statkach pasażerskich. Klasyczny system AIS – z uwagi m.in. na krzywiznę Ziemi – ma zasięg ograniczony do ok. 40 mil morskich. Rozszerzenie systemu o część satelitarną (zgodnie z założeniami projektu) pozwala na eliminację tego ograniczenia: za pośrednictwem satelity możliwe jest gromadzenie danych od statków znajdujących się poza zasięgiem lądowych stacji kontroli ruchu i następnie przekazywanie ich do stacji naziemnych. Satelitarny AIS w połączeniu z zaletami budowanego obecnie systemu VDES przyczyniłby się do zwiększenia bezpieczeństwa żeglugi morskiej, jak również znacząco rozszerzyłby możliwość implementacji nowoczesnych usług e-nawigacji. W związku z powyższym, do potencjalnych beneficjentów projektu SAT-AIS-PL należałoby praktycznie wszyscy użytkownicy AIS/VDES: administracja morska i portowa, służba SAR, straż graniczna, armatorzy czy wreszcie załogi statków.

Ponieważ studium wykonalności realizowane w fazie A projektu obejmowało zasadniczo wszystkie aspekty funkcjonowania przyszłego satelity, zadania zostały ściśle podzielone pomiędzy konsorcjantów. Instytut Łączności odpowiadał za następujące prace:

- opracowanie koncepcji satelitarnego odbiornika AIS,
- opracowanie koncepcji satelitarnego odbiornika/nadajnika VDES,
- opracowanie koncepcji anten odbiorczych i nadawczych AIS oraz toru antenowego,
- symulacja satelitarnego odbiornika AIS/VDES.

Do zadań projektowanego odbiornika AIS należy przede wszystkim demodulacja depesz AIS (również tych, które uległy kolizjom) oraz przekazanie na Ziemię części próbek I/Q sygnału AIS. Z kolei projektowany transceiver systemu VDES ma realizować następujące funkcje: demodulacja/modulacja wiadomości VDES, transmisja testowych danych VDES, jak również przekazywanie danych służących do rozwoju systemu i jego standaryzacji.

Opracowując koncepcję powyższych komponentów, wykorzystano technikę radia definiowalnego programowo (*Software Defined Radio* – SDR). Proponowana architektura złożona jest z dwóch modułów: analogowego i cyfrowego, przy czym w module analogowym wydzielono tor nadawczy i odbiorczy. W torze odbiorczym realizowane są następujące zadania: odbiór sygnału, jego wzmocnienie, detekcja mocy, filtracja sygnału i jego przeniesienie do częstotliwości pośredniej. W części analogowej odebrany sygnał jest próbkowany z wykorzystaniem przetwornika A/C i uzyskane w ten sposób próbki są dostarczane do części cyfrowej układu. Z kolei w torze nadawczym sygnał jest wzmacniany, przenoszony na częstotliwość nośną i transmitowany z wykorzystaniem anteny o wysokim zysku.

W wyniku przeprowadzonych analiz przyjęto koncepcję, zgodnie z którą każda antena odbiorcza będzie współpracować z własnym, dedykowanym modulem analogowym, zaś wszystkie moduły

analogowe połączone będą z jednym modułem cyfrowym. Ogólny schemat koncepcyjny satelitarnego transceivera VDES/odbiornika AIS przedstawiono na rys. 6a, zaś część analogową zaprezentowano na rys. 6b.

Przeprowadzone badania symulacyjne proponowanego układu (m.in. w środowisku SciLab) wykazały poprawność jego funkcjonowania; potwierdzono również, iż wydajność obliczeniowa modułu FPGA przewidywanego na potrzeby fizycznej implementacji transceivera jest wystarczająca dla zapewnienia właściwego funkcjonowania docelowego układu.

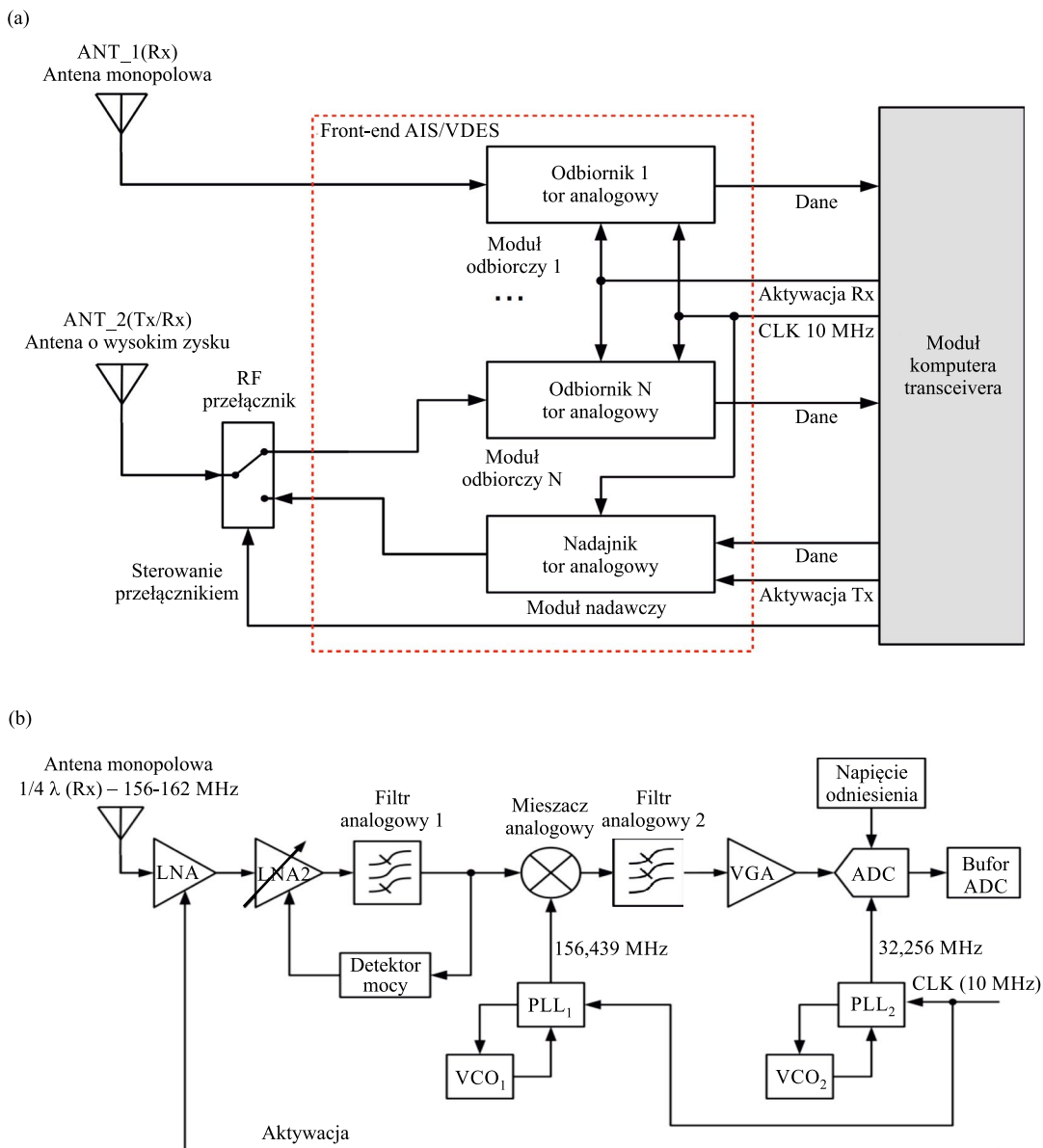
W ramach projektu IŁ analizował również potencjalne typy anten rozważane do wykorzystania na potrzeby satelitarnego odbiornika AIS i transceivera VDES, w tym anteną monopolową  $\lambda/4$  oraz  $\lambda$ , a także antenę Yagi (zespół z Akademii Morskiej w Gdyni analizował dodatkowo inne typy anten: helikalną oraz tzw. antenę AISMAN). Działania te obejmowały głównie symulacje komputerowe oraz prace analityczne. Ich celem było przede wszystkim określenie parametrów pracy anteny, wyznaczenie jej charakterystyk promieniowania, określenie optymalnego kąta jej nachylenia (tak, aby zmaksymalizować tzw. *field of view*, czyli obszar, który taka antena „pokrywa”). Analizowano również kwestie mechaniczne, związane m.in. z możliwością mechanicznego rozkładania anten umieszczonych na satelicie. Wyniki tych analiz – oprócz identyfikacji zalet i wad poszczególnych anten i pozyskania konkretnych wytycznych instalacyjnych – pozwoliły na określenie optymalnej wysokości orbity, na jakiej miałyby być umieszczone satelity SAT-AIS-PL. Na rys. 7 przedstawiono przykładowe zasymulowane charakterystyki uzyskane w toku prac dla anteny Yagi.

Prace zrealizowane w fazie A przez Instytut Łączności były oczywiście tylko jednym z elementów studium wykonalności satelity SAT-AIS-PL. Pozostali konsorcjanci projektu badali m.in. takie zagadnienia jak: koncepcja modułu i systemów łączności pomiędzy satelitą a stacją naziemną, modułu GNSS do synchronizacji czasu na satelicie, czy systemu do monitorowania i wizualizacji położenia satelity i obiektów pływających. Tematem rozważań były również kwestie realizacyjne związane z budową samego satelity i z misją umieszczenia go na orbicie. Ostatecznie zatem dokumenty opracowane w ramach fazy A projektu stanowią bardzo obszerny zbiór wiedzy technicznej i mogą z powodzeniem być wykorzystane przy realizacji dalszych faz projektu SAT-AIS-PL.

## Wykorzystanie systemów łączności i nawigacji satelitarnej w metrologii czasu

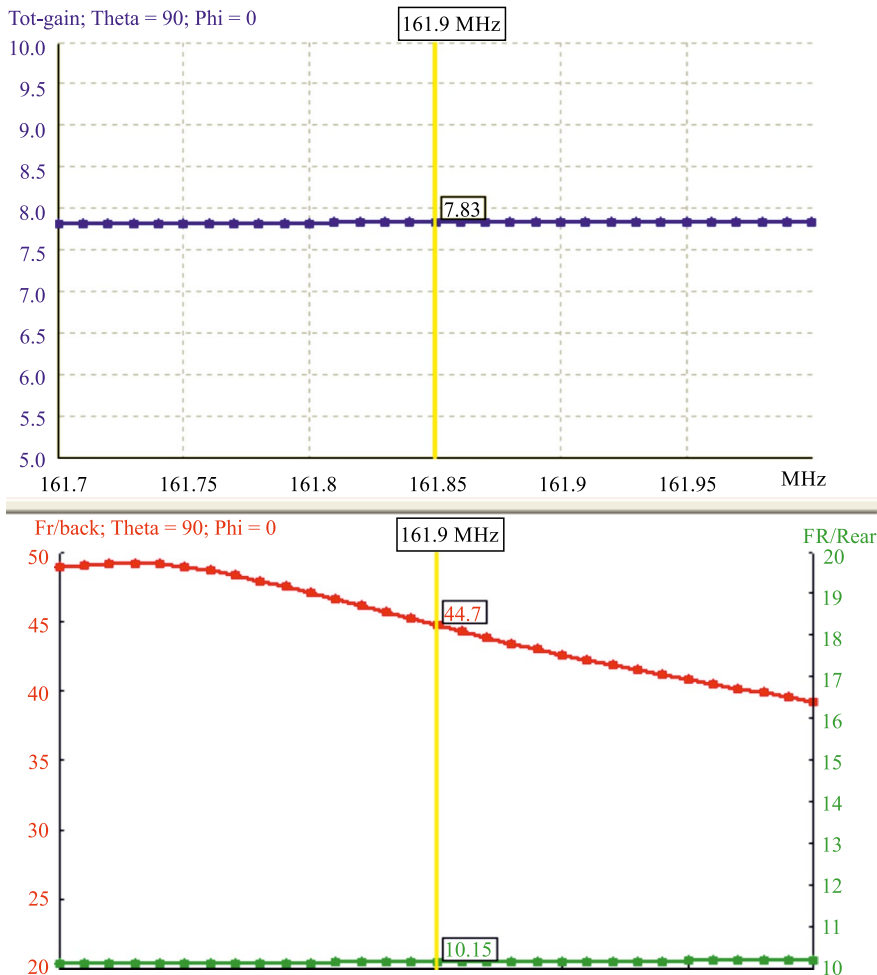
### *Współpraca z GUM i Grupą TA (PL)*

Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej (LMEEiO) Instytutu Łączności [19] zarządza dwoma cezowymi, atomowymi wzorcami czasu i częstotliwości, które uczestniczą zarówno w krajowym (TA(PL)), jak i międzynarodowym systemie porównań (TAI). W Polsce od ok. 20 lat trwa współpraca laboratoriów metrologicznych i badawczych zajmujących się dziedziną czasu i częstotliwości. 3 grudnia 2004 r. w Warszawie zawarto porozumienie o współpracy w zakresie tworzenia niezależnej Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) pomiędzy Prezesem Głównego Urzędu Miar oraz grupą krajowych laboratoriów badawczych dziedziny czasu i częstotliwości. Celem Porozumienia było utrzymanie i doskonalenie niezależnej Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL) oraz zagwarantowanie trwałej współpracy Głównego Urzędu Miar, krajowych instytucji i laboratoriów metrologicznych w zakresie prowadzenia atomowych wzorców czasu i częstotliwości. Efektem tej



**Rys 6.** Koncepcja satelitarnego transceivera VDES/odbiorczy: a) schemat ogólny, b) schemat toru odbiorczego

współpracy było powstanie Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL), ponieważ dane z Międzynarodowego Biura Miar i Wąg (BIPM) dotyczące każdego z wzorców są dostępne dopiero po miesiącu, co jest niewystarczające do właściwego nadzoru wzorców (zegarów), aby skrócić ten czas opracowano algorytm zespołowej skali czasu TA(PL) podobny do tego zastosowanego w TAI.



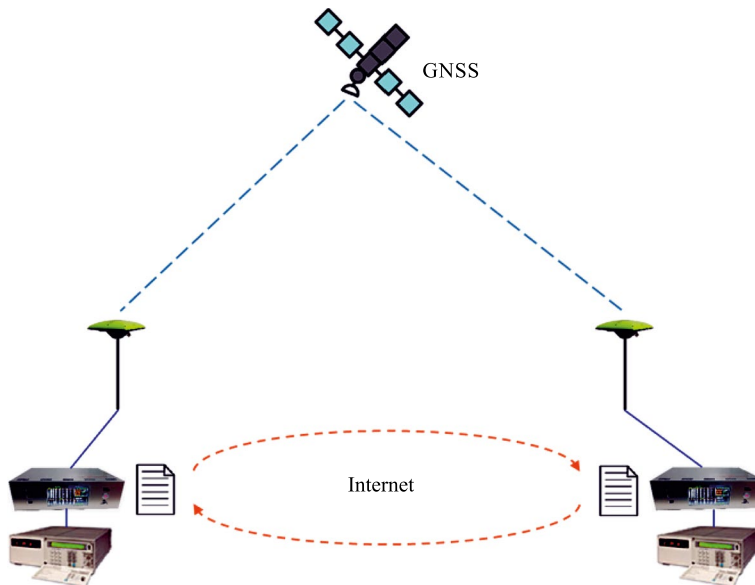
Rys. 7. Zasymulowane charakterystyki zysku całkowitego i współczynników odbicia front/back i front/rear w funkcji częstotliwości dla anteny Yagi

### Porównania skal czasu

Podstawowym, najbardziej popularnym sposobem zdalnego porównania wzorców czasu jest satelitarna metoda wspólnej obserwacji (*Common View – CV*) – rys. 8.

Polega ona na obserwacji wspólnego zbioru satelitów przez różne laboratoria wyposażone w wielokanałowe odbiorniki nawigacji satelitarnej GNSS. W każdym z laboratoriów porównywana jest sekunda z lokalnego wzorca w stosunku do sekundy odebranej z odbiornika GNSS. Wyniki porównań są rejestrowane dla poszczególnych momentów oraz satelitów. Zbiory z wynikami są wymieniane pomiędzy laboratoriami oraz przesyłane do Bazy Danych dla TA(PL). Następnie wyliczane są różnice pomiędzy poszczególnymi wzorcami wg wzoru (1) oraz algorytmy zespołowych skal czasu, w tym TA(PL):

$$(WzorzecLab1 - GPS) - (WzorzecLab2 - GPS) = WzorzecLab1 - WzorzecLab2 \quad (1)$$



Rys. 8. Schemat działania metody transferu czasu wspólnej obserwacji (Common View – CV)

### **Satelitarna metoda dwudrogowa (TWSTFT) dla potrzeb transferu Państwowego Czasu Urzędowego UTC(PL)**

Szczególne współpraca w dziedzinie metrologii czasu łączy IŁ z GUM oraz innymi jednostkami badawczymi działającymi w tym obszarze. Instytut utrzymuje dwa atomowe wzorce cezowe, które są stale porównywane z państwowym czasem urzędowym generowanym przez GUM. Dzięki temu prowadzony jest szereg stałych wspólnych prac badawczych, które pozwalają zarówno na rozwój kompetencji poszczególnych zespołów, jak i przynoszą wymierne korzyści dla wielu sektorów gospodarki.

Efektom tej współpracy jest uruchomienie satelitarnej dwudrogowej metody transferu czasu (*Two Way Time Transfer System* – TWSTFT) w siedzibie IŁ na potrzeby porównania UTC(PL) z innymi narodowymi skalami czasu prowadzonymi w innych krajach - UTC(k) – rys. 9-10. Warszawska stacja TWSTFT została umieszczona w siedzibie IŁ z kilku istotnych powodów, mianowicie siedziba GUM znajduje się w centrum miasta i jest otoczona wysoką zabudową, co znacząco utrudnia lokalizację anteny nadawczo-odbiorczej, tak aby w polu jej widzenia znajdowały się satelity wykorzystywane do transmisji zarówno nad Atlantykiem jak i nad Eurazją. W przypadku siedziby Instytutu nie ma takich problemów i obydwa satelity są bezproblemowo dostępne.

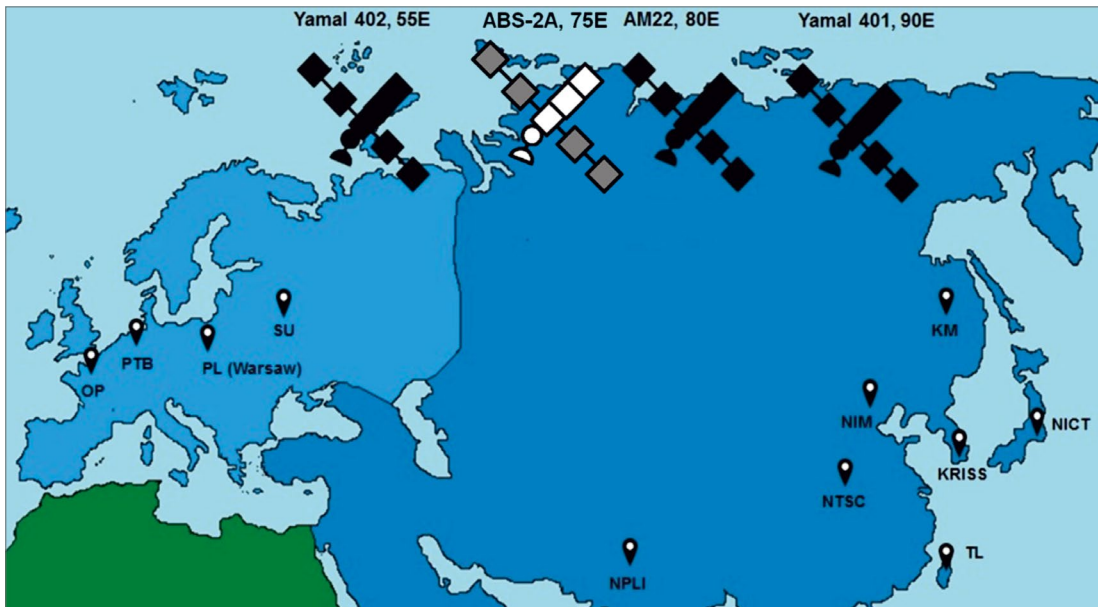
Problemem w realizacji takiego rozwiązania jest odległość pomiędzy GUM a IŁ, która wynosi ok. 15 km w linii prostej. Szczęśliwie pomiędzy tymi instytucjami istnieje połączenie światłowodowe po ciemnym włóknie, które dotąd było wykorzystywane do porównań wzorców czasu w naszych laboratoriach. We współpracy z GUM oraz zespołem AGH, w IŁ udało się opracować system umożliwiający równoczesną transmisję wielu sygnałów czasu po pojedynczym włóknie światłowodowym. Całkiem nowe możliwości w skali światowej uzyskano w związku z istniejącym światłowodowym połączeniem drugiej polskiej stacji TWSTFT zlokalizowanej w Borowcu pod Poznaniem. Aktualnie



obie polskie stacje są połączone światłowodowo z GUM i obserwują różne satelity (ABS-2A nad Eurazją i T11N nad Atlantykiem). Główne laboratorium odpowiedzialne za organizację międzynarodowego systemu porównań TWSTFT, czyli niemieckie PTB, także obserwuje oba te satelity. Dzięki temu możliwe stanie się przeprowadzenie bardzo precyzyjnej kalibracji wszystkich tych systemów, co pomoże zwiększyć dokładność porównań poszczególnych UTC(k) tą metodą, a także poprawić niezawodność całego światowego systemu porównań TWSTFT. Obie polskie stacje mogą też działać jako rezerwa dla PTB w przypadku przedłużającej się awarii.

Modem stacji TWSTFT znajduje się w komorze wzorców (rys. 11) wyposażonej w klimatyzację precyzyjną, wraz z modułem nadawczo-odbiorczym podłączony jest do systemu gwarantowanego zasilania. System ten powinien umożliwić pracę wszystkich urządzeń przez około 24 h po odłączeniu zasilania (same wzorce IŁ są dodatkowo podłączone do stałoprądowej sieci zabezpieczającej 24 V, której pojemność powinna wystarczyć na ok. 48 h nieprzerwanej pracy).

Kolejną korzyścią zlokalizowania stacji na terenie IŁ jest możliwość wykorzystania jego centrum obliczeniowego. Dzięki temu możliwa jest niemal całkowita automatyzacja procesu pomiarowego, przetwarzania danych oraz przesyłania ich w świat, co jest niezwykle istotne w przypadku tak skomplikowanej organizacji systemu transferu czasu UTC(PL) do IŁ.



Rys. 9. Laboratoria biorące udział w euroazjatyckiej sieci porównań TWSTFT



**Rys. 10.** Antena nadawczo-odbiorcza zestawu TWSTFT do porównań polskiego czasu urzędowego UTC(PL) zainstalowana w IŁ

## Podsumowanie

Systemy i techniki satelitarne to pojęcie niezwykle szerokie, zatem aktywność na tym polu może obejmować najróżniejsze aspekty i przybierać najrozmaitsze formy. Jak pokazuje niniejszy artykuł, Instytut Łączności w ostatnich latach zaangażowany był zarówno w prace pomiarowe, symulacyjne, koncepcyjne, jak i standaryzacyjne, w tak różnorodnych tematycznie obszarach jak systemy nawigacji satelitarnej, metrologia czasu, nawigacja morska czy opracowanie koncepcji satelity telekomunikacyjnego. Biorąc pod uwagę rosnące znaczenie segmentu systemów i technik satelitarnych i coraz większe zainteresowanie nim polskich podmiotów gospodarczych, kontynuowanie tej ścieżki przez IŁ wydaje się być koniecznością. Jednym z potencjalnych tematów przyszłej aktywności Instytutu na tym polu może być zagadnienie algorytmów wykrywania i minimalizowania wpływu interferencji na sygnał GNSS (wniosek złożony w ramach programu *Polish Industry Incentive Studies* oczekuje właśnie na ocenę), rozważane są także inne projekty.

Autorzy wyrażają nadzieję, że niniejszy artykuł zachęci również inne jednostki funkcjonujące w Instytucie Łączności do włączenia się w działania na polu systemów i technik satelitarnych. Wspominana już kilkakrotnie „pojemność” tego zagadnienia oraz bardzo duża liczba projektów i konkursów ogłaszanych przez ESA (ale nie tylko!) daje praktycznie każdemu możliwość znalezienia „niszy”, która byłaby zarówno interesująca z naukowego punktu widzenia, jak i zgodna z jego kompetencjami.



Rys. 11. System pomiarowy satelitarnej metody dwudrogowej zainstalowanej w komorze wzorców IL

### **Bibliografia:**

- [1] u-blox EVK-8/EVK-M8, <https://www.u-blox.com/en/product/evk-8evk-m8>
- [2] System nawigacyjny Galileo. Aspekty strategiczne, naukowe i techniczne, Académie de Marine, Bureau des Longitudes, Académie Nationale de l'Air et de l'Espace, Wydanie 1, WKŁ, 2006.
- [3] Galileo Satellites, <http://www.n2yo.com/satellites/?c=22>
- [4] Januszewski J.: *Systemy satelitarne GPS, Galileo i inne*, Wydanie 2, PWN, 2010.
- [5] *Pomiary jakości i dostępności sygnałów Galileo w Polsce, Raport dla Ministerstwa Cyfryzacji*, Zakład Systemów i Sieci Bezprzewodowych w Gdańsku, Instytut Łączności, 2016.

- [6] Bronk K., Niski R., Wereszko K.: *Weryfikacja dostępności sygnału Galileo w wybranych środowiskach propagacyjnych w Polsce*, Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, 2017, nr 6, s. 283-286.
- [7] European GNSS Service Centre, Constellation Information, <https://www.gsc-europa.eu/system-status/Constellation-Information>
- [8] Galileo, European Commission, <http://ec.europa.eu/growth/sectors/space/galileo/>
- [9] GPS: The Global Positioning System, <http://www.gps.gov/>
- [10] Galileo navigation, ESA, [http://www.esa.int/Our\\_Activities/Navigation/Galileo/](http://www.esa.int/Our_Activities/Navigation/Galileo/)
- [11] Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 1285/2013 z dnia 11 grudnia 2013 r. w sprawie realizacji i eksploatacji europejskich systemów nawigacji satelitarnej oraz uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 876/2002 i rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 683/2008.
- [12] ITU-R Recommendation M.1371-5: Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band, 2014.
- [13] ITU-R Recommendation M.2092-0: Technical characteristics for a VHF data exchange system in the VHF maritime mobile band, 2015.
- [14] IALA Guideline G1139: The Technical Specification of VDES, Edition 1.0, December 2017.
- [15] EfficienSea2, <https://efficiensea2.org/>
- [16] Bronk K., Mazurowski M., Rutkowski D.: Wereszko B., *Badania symulacyjne warstwy fizycznej naziemnego segmentu systemu VDES*, Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6, str. 467-470, 2016.
- [17] Bronk K., Koncicki P., Lipka A.: *Analiza wyników pomiarów zasięgu i jakości transmisji danych w warstwie fizycznej systemu VDES*, Przegląd Telekomunikacyjny + Wiadomości Telekomunikacyjne, nr 6, str. 316-319, 2018.
- [18] ITU-R Recommendation P1546-5: Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz, 2013.
- [19] Laboratorium Metrologii Elektrycznej, Elektronicznej i Optoelektronicznej, <https://www.itl.waw.pl/pl/lmeicio>

## Krzysztof Bronk



Krzysztof Bronk, uzyskał stopień naukowy doktora nauk technicznych w dziedzinie telekomunikacji w 2010 roku. Obecnie jest adiunktem w Instytucie Łączności – Państwowym Instytucie Badawczym. Jest autorem lub współautorem ponad 50 recenzowanych publikacji naukowych oraz ponad 40 prac i raportów technicznych. Jego zainteresowania naukowe związane są głównie z radiokomunikacją, a w szczególności z: planowaniem i projektowaniem systemów bezprzewodowych, radiem definiowanym programowo oraz radiem kognitywnym, technologią wieloantenową MIMO, kryptografią, zagadnieniami propagacyjnymi, technikami kodowania i transmisji jak i zagadnieniami związanymi z lokalizacją terminali oraz e-nawigacją. Do jego zainteresowań należą również: zorientowane obiektowo aplikacje wielowątkowe, algorytmy DSP oraz rozwiązania sterowania dla potrzeb pomiarów jakości w sieciach. Jest on ponadto obecnie zaangażowany w realizację kilku projektów naukowo-badawczych z partnerami zarówno akademickimi jak i przemysłowymi w Polsce i w Europie.

e-mail: [k.bronk@itl.waw.pl](mailto:k.bronk@itl.waw.pl)

## Adam Lipka



Adam Lipka ukończył studia na Wydziale Elektroniki, Telekomunikacji i Informatyki Politechniki Gdańskiej w roku 2005. W czerwcu 2013 roku, również na Politechnice Gdańskiej, uzyskał stopień doktora nauk technicznych w dziedzinie telekomunikacji. Od stycznia 2006 roku jest zatrudniony w Instytucie Łączności w Zakładzie Systemów i Sieci Bezprzewodowych w Gdańsku (obecnie na stanowisku adiunkta). Od 2016 jest kierownikiem Pracowni Systemów i Technik Satelitarnych. Jego zainteresowania naukowe obejmują m.in. takie zagadnienia jak: nowoczesne techniki transmisyjne, wieloantenowe systemy MIMO oraz propagacja fal radiowych. Jest autorem i współautorem ponad 50 artykułów i publikacji.

e-mail: [a.lipka@itl.waw.pl](mailto:a.lipka@itl.waw.pl)

## Michał Marszalec



Michał Marszalec – kierownik Zespołu Metrologii Czasu i Częstotliwości w Centralnej Izbie Pomiarów Telekomunikacyjnych Instytutu Łączności – Państwowego Instytutu Badawczego. Ukończył Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych Politechniki Warszawskiej w 2000 r. oraz podyplomowe studia menadżerskie na Wydziale Zarządzania Uniwersytetu Warszawskiego w 2001 r. W roku 2009 uczestniczył w warsztatach naukowo-biznesowych *ESA International Summer School on Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) organizowanych przez Europejską Agencję Kosmiczną oraz Institute of Geodesy and Navigation of the University FAF Munich we współpracy z Stanford University (USA), Institute Supérieur de l’Aéronautique et de l’Espace (Francja), University of Aalborg (Denmark) i Graz University of Technology (Austria).

Zajmuje się metrologią czasu i częstotliwości w zakresie: badania algorytmów zespołowych skal czasu, opracowanie metod pomiarowych, automatyzacja systemów pomiarowych, nadzór i utrzymanie wzorców czasu, wykorzystanie systemów bazodanowych w metrologii – Baza Danych dla Polskiej Atomowej Skali Czasu TA(PL), wykorzystanie systemów satelitarnych do transferu czasu oraz współpracą z Głównym Urzędem Miar, AGH, AOS CBK.

e-mail: [m.marszalec@itl.waw.pl](mailto:m.marszalec@itl.waw.pl)

## Rafał Niski



Rafał Niski ukończył w 2001 roku Politechnikę Gdańską, uzyskując stopień magistra inżyniera w specjalności Systemy Radiokomunikacji Ruchomej. W 2006 roku uzyskał stopień doktora nauk technicznych w specjalności telekomunikacja. Od ukończenia studiów pracuje nieprzerwanie w Instytucie Łączności w Gdańsku, obecnie na stanowisku adiunkta w Zakładzie Systemów i Sieci Bezprzewodowych, przy czym w latach 2005–2012 pełnił funkcję Kierownika tego Zakładu. Od 2016 pełni funkcję kierownika Pracowni Pomiarów Sieci i Urządzeń Radiowych. Jego zainteresowania naukowe obejmują tematykę związaną z szeroko rozumianą radiokomunikacją ruchomą. Jest autorem i współautorem ponad 90 artykułów i publikacji.

e-mail: [r.niski@itl.waw.pl](mailto:r.niski@itl.waw.pl)