

Jak radzić sobie z zakłócaniem sygnałów GNSS w pomiarach geodezyjnych?

# Mała moc, spory problem

Choć zakłócanie nawigacji satelitarnej na ogół jest przez geodetów bagatelizowane, to z roku na rok staje się coraz poważniejszym zagrożeniem. Na szczęście nie jesteśmy wobec tych zjawisk całkiem bezbronni.

**Jerzy Królikowski**

**E**ksperti obrazowo porównują nawigację satelitarną do obserwowania przeciętnej żarówki oddalonej od nas o 20 tys. kilometrów. To oczywiście

spore uproszczenie, ale trafnie pokazuje, że sprzęt GNSS – i ten profesjonalny, i amatorski – śledzi sygnały o bardzo niewielkiej mocy. W efekcie są one niezwykle podatne na zakłócenia – zarówno niezamierzone, jak i celowe. Te mogą zaś powodować wydłużony czas inicjalizacji, błędne wyznaczenie pozycji, a nawet zupełny brak możliwości pomiaru. Dotychczas większość użytkowników precyzyjnych odbiorników GNSS uznawała ten problem za nieistotny. Coraz liczniejsze doniesienia medialne o zakłóceniach pokazują jednak, że zjawiska te należy poważnie brać pod uwagę zarówno przy wyborze sprzętu, jak i podczas jego codziennego użytkowania.

## • Z krótkiej historii zakłócania

Żeby nie być gołosłownym, przytoczmy kilka głośnych przypadków zakłócania systemów nawigacji satelitarnej, z ostatnich lat:

- Prawdopodobnie po raz pierwszy temat trafił na nagłówki światowej prasy w 2010 roku, gdy Korea Północna rozpoczęła zagłuszanie sygnałów GPS na granicy ze swoim południowym sąsiadem. Kolejne doniesienia pojawiały się co kilka miesięcy aż do roku 2016. Skutki tych praktyk odczuwane były m.in. przez pilotów samolotów pasażerskich czy marynarzy nawet kilkadziesiąt kilometrów w głąb terytorium Korei Południowej.

- Załoga jednego ze statków zacumowanych w Noworosyjsku nad Morzem Czarnym zauważyła, że według wskazań pokładowego systemu nawigacji satelitarnej jednostka znajduje się na odlegalnym 32 km lotnisku w Gelendżyku. Według „New Scientist” był to najpewniej pierwszy udokumentowany przypadek nadawania fałszywych sygnałów GPS na tak dużą skalę, który mógł być związany z testowaniem nowego typu broni elektronicznej przez rosyjską armię.

- Na kolejne doniesienia nie trzeba było długo czekać. W 2017 r. media informowały o przypadkach wyznaczenia błędnej pozycji przez odbiorniki GNSS w okolicach Kremla w Moskwie. W wyniku celowego zakłócania, za którym prawdopodobnie stały rosyjskie służby, użytkownicy lokalizowani byli nawet 30 km od swojej faktycznej pozycji.

- W odpowiedzi na manewry NATO pod kryptonimem „Trident Juncture” zorganizowane pod koniec 2018 roku w północnej Skandynawii rosyjska armia kilkakrotnie zakłócała sygnały GNSS na rozległej powierzchni. Na problemy z przeprowadzaniem pomiarów skarżyli się wówczas m.in. norwescy geodeci.

- Po broń tę chętnie sięga również armia Iranu. W 2019 r. stosowała ją w strategicznej cieśninie Ormuz łączącej Zatokę Perską i Zatokę Omańską.

## W Polsce na razie spokojnie

Dobrym źródłem informacji o ewentualnym wielkopowierzchniowym zakłócaniu sygnałów GNSS w kraju jest sieć 127 stacji referencyjnych ASG-EUPOS. Jak wyjaśniają jej administratorzy, analizy w tym zakresie prowadzone są w trybie ciągłym za pomocą modułów kontrolnych oprogramowania zarządzającego całym systemem. Badają one spójność współrzędnych wyznaczanych w czasie rzeczywistym ze współrzędnymi „wzorcowymi” zdefiniowanymi dla każdej stacji. Dodatkowa kontrola realizowana jest przez niezależne centra analiz EPN w Wojskowej Akademii Technicznej oraz na Politechnice Warszawskiej. „Od uruchomienia ASG-EUPOS nie zidentyfikowano prób celowego, zorganizowanego zakłócania sygnałów GNSS mającego na celu świadome przekłamanie wyznaczonej pozycji” – podkreśla GUGiK. Wprawdzie wystąpiło kilka lokalnych przypadków zakłóceń prawidłowej pracy urządzeń stacji referencyjnych, jednak związane były z uszkodzeniami infrastruktury na stacjach lub obniżeniem jakości odbieranego sygnału przez inne urządzenia nadawczo-odbiorcze emitujące fale radiowe. Konsekwencją tego typu sytuacji była obniżona liczba śledzonych satelitów lub pogorszona jakość sygnałów transmitowanych do Centrów Zarządzania.



Zaawansowane jammy są chętnie stosowane np. przez złodziei samochodów. To urządzenie kutnowscy policjanci odkryli w skradzionym bmw

•Problem zakłócania dotyczy również terytorium Polski, co pokazała wiadomość opublikowana jesienią 2021 roku na stronie Komendy Powiatowej Policji w Kutnie. W odnalezionym po kradzieży pojeździe marki BMW policjanci odkryli dwa pracujące zaawansowane zestawy do zakłócania sygnałów GNSS. Urządzenia miały uniemożliwić zlokalizowanie pojazdu za pomocą wbudowanego weń systemu namierzającego.

### • Na różne sposoby

Nim w szczególności zajmiemy się wpływem zakłócania na pomiary geodezyjne, uporządkujmy terminologię. Zakłócanie to bowiem bardzo pojemny termin, pod którym kryje się wiele zjawisk mających odmienny wpływ na pracę urządzeń elektronicznych.

Mówiąc o zakłócaniu, najczęściej mamy na myśli działania celowe, które utrudniają bądź uniemożliwiają korzystanie z danej częstotliwości – w takim przypadku chodzi o **zagliżanie (jamming)**. Jak wspomnieliśmy na wstępie, ze względu na niewielką moc sygnału GNSS docierającego do użytkownika zagliżanie nawigacji satelitarnej nie jest niczym trudnym. Wystarczy wypożyczyć się w proste urządzenie zasilane

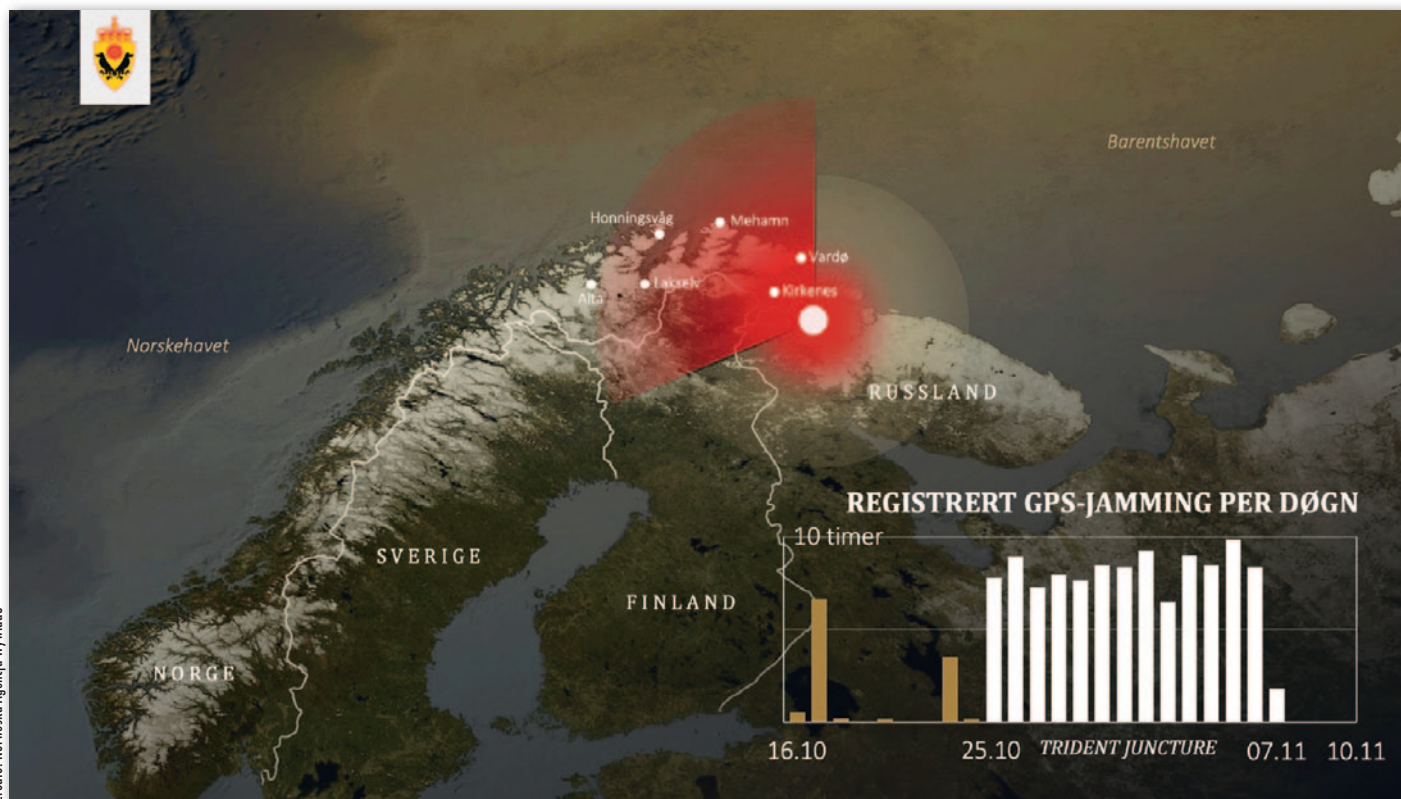
Fot. KPP Kutno

•Tego typu broń elektroniczną chce mieć również polskie wojsko. Pod koniec 2020 r. przetarg na dostawę zestawów do zakłócania sygnałów GNSS ogłosił Inspektorat Uzbrojenia Ministerstwa Obrony Narodowej. Raptem miesiąc później Polska Agencja Żeglugi Powietrznej ogłosiła zamówienie na urządzenia do detekcji takich zakłóceń.

•Za zakłócaniem stoją jednak nie tylko armie, ale i cywile wykorzystujący ta-

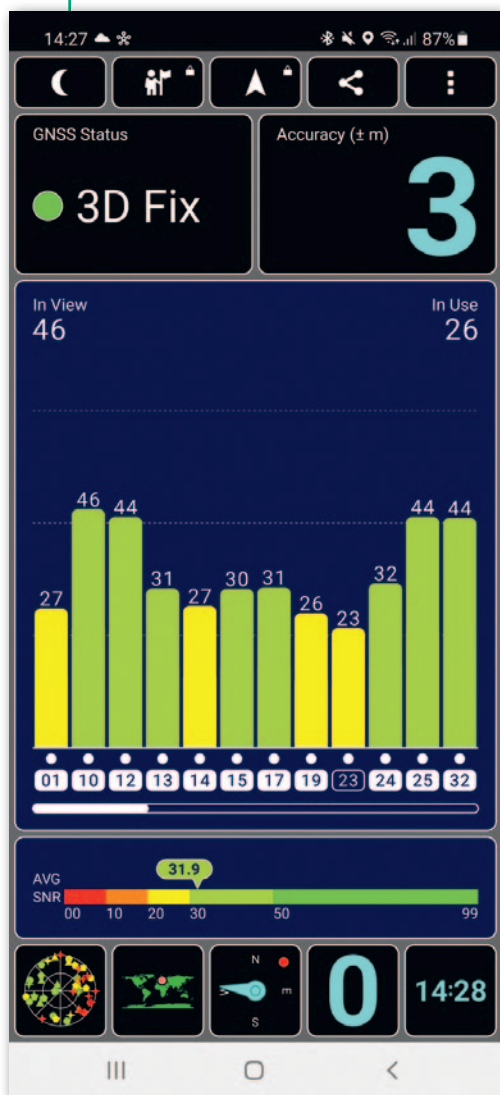
nie i łatwo dostępne zestawy podłączane do samochodowej zapalniczki. Badanie belgijskiej firmy Septentrio przeprowadzone przy jednej z autostrad stwierdziło aż 26 przypadków ich użycia w ciągu zaledwie 7 dni [1].

•W całym 2019 roku europejska agencja bezpieczeństwa ruchu lotniczego Eurocontrol zarejestrowała aż 3,5 tys. przypadków zakłóceń sygnałów GNSS [2].



Incydenty zakłócania sygnałów GNSS przez rosyjską armię podczas natowskich manewrów „Trident Juncture”

Źródło: Norweska Agencja Wywiadu



Do sprawdzenia wskaźnika S/N wystarczy zwykły smartfon z odpowiednią aplikacją, np. GPS Test

z zapalniczki samochodowej, które na internetowych aukcjach można kupić już za kilkaset złotych. Gadżet ten bywa stosowany np. w służbowych samochodach, by uniemożliwić śledzenie pojazdu przez kierownictwo. Choć urządzenie jest tanie, niewielkie i proste w obsłudze, to skutki jego włączenia mogą być dalekosiężne. Przykładowo, w przypadku jammera o mocy 2 W zasięg sygnału zakłócającego sięga nawet 15 km [3]. Oczywiście, w praktyce wartość ta zależy od lokalnych warunków propagacji fal radiowych i w terenie zabudowanym nie powinna przekraczać kilkuset metrów. Znacznie bardziej na zagłuszanie narażone są natomiast drony, szczególnie jeśli latają w terenie otwartym.

Warto podkreślić, że najtańsze jammery mają niewielką moc i potrafią zagłuszać tylko jedną częstotliwość, co mocno ogranicza ich negatywny wpływ na innych użytkowników nawigacji satelitarnej (szerzej wyjaśnimy to w dalszej częś-

ci artykułu). Koszt urządzenia o wyższej mocy, obejmującego wszystkie systemy i sygnały GNSS, potrafi sięgać nawet kilkudziesięciu tysięcy złotych. Nie powinniśmy jednak spać spokojnie, bo – jak pokazuje przywołany wcześniej przypadek złodziei z okolic Kutna – i u nas taki sprzęt znajduje nieuczciwych nabywców. Ponadto przykład Rosji, Korei czy Iranu dowodzi, że zagłuszanie coraz chętniej wykorzystywane jest jako broń elektroniczna o dalekim zasięgu. Doniesienia medialne po wspomnianych manewrach NATO świadczą, że może ona skutecznie paraliżować pracę odbiorników GNSS nawet kilkadziesiąt kilometrów od granicy wroga.

W przypadku nawigacji satelitarnej potencjalnie bardziej niebezpieczną formą zakłócania jest **spoofing**, czyli **nadawanie fałszywych sygnałów radiowych**. Może się wówczas wydawać, że odbiornik pracuje prawidłowo, choć wyliczy pozycję z błędem sięgającym nawet kilkuset kilometrów. Oczywiście z punktu widzenia geodetów najniebezpieczniejsze są błędy rzędu pojedynczych metrów, które z jednej strony trudno wykryć „na oko”, a z drugiej – mogą powodować poważne konsekwencje dla klienta. Jeszcze do niedawna urządzenia do **spoofingu** były bardzo złożone i drogie, zatem krąg ich użytkowników ograniczał się głównie do wojska. W ostatnich latach ceny jednak systematycznie spadają, należy się zatem liczyć z coraz częstszymi przypadkami ich stosowania.

Oczywiście trzeba pamiętać, że zakłócanie może mieć też charakter nieintencjonalny, a nawet naturalny. Przyczyną jest przede wszystkim nadmierna aktywność Słońca, szczęśliwie rzadko dająca się we znaki użytkownikom odbiorników GNSS. Co jakiś czas naukowcy przestrzegają jednak przed bardzo silną burzą słoneczną, która pewnego dnia może sparaliżować nawigację satelitarną na sporej części naszej planety. Źródłem zakłóceń bywają także legalnie pracujące nadajniki wykorzystujące częstotliwości zbliżone do tych użytkowanych przez sygnały GNSS. Z informacji dostarczanych przez geodetów wynika, że problemy sprawiają im chociażby radary. W trudnej sytuacji mogą znaleźć się geodeci ze Stanów Zjednoczonych, gdzie od lat trwa batalia o koncesje dla telefonii 5G. Tamtejsze telekomy chcą bowiem wykorzystywać częstotliwości niebezpiecznie zbliżone do tych użytkowanych przez GNSS. Na szczęście u nas zapewniono odpowiednią separację tych sygnałów.

Źródłem nieintencjonalnych zakłóceń bywa również sam sprzęt elektroniczny,

a szczególnie wpływ innych komponentów radiowych. Problem tego tzw. **samozakłócania** może okazać się dokuczliwy np. w gorszej jakości smartfonach, bo producenci profesjonalnego sprzętu pomiarowego zgodnie zapewniają, że ich rozwiązań to nie dotyczy.

## • Po pierwsze, wykryj

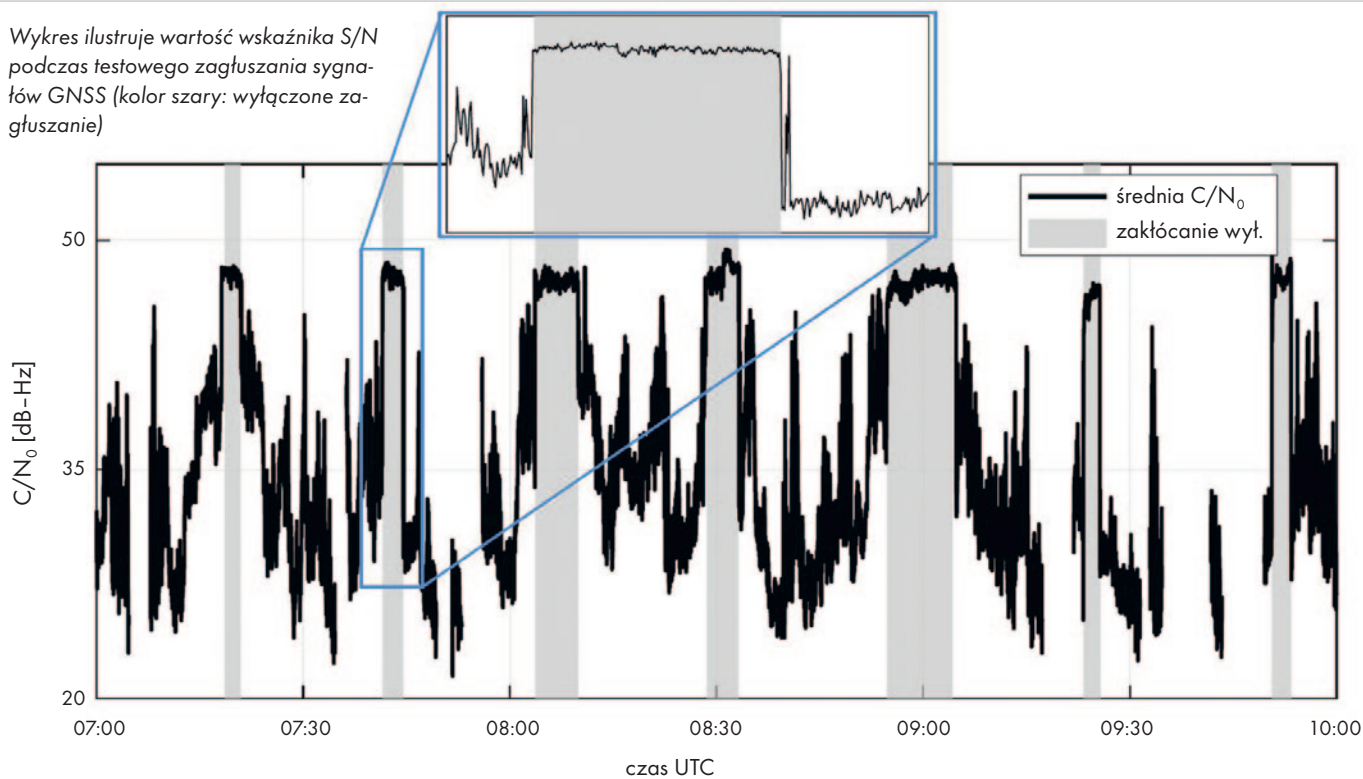
Jakże wygodnie byłoby, gdyby zaawansowana elektronika odbiornika GNSS automatycznie wykrywała wszelkie zakłócenia i tak samo automatycznie eliminowała ich wpływ! Niestety, na razie nie jest to możliwe, choć z pewnością producenci sprzętu pomiarowego do tego dążą. Już teraz profesjonalny sprzęt zapewnia narzędzia, dzięki którym nie jesteśmy całkowicie bezbronni wobec tych zjawisk.

Pierwszą wskazówką świadczącą o trwałym zakłócaniu możemy dostrzec na wykresie prezentującym lokalizację satelitów GNSS na niebie. Jeśli dany aparat znajduje się wysoko ponad horyzontem i nie jest zasłaniany przez przeszkody terenowe, a odbiornik nie korzysta z jego sygnałów, może to oznaczać zakłócanie. Naszą czujność powinno także wzbudzić „spadanie satelitów”, czyli nagła redukcja liczby śledzonych aparatów.

Znacznie lepszą wskazówką dotyczącą zakłócania jest wskaźnik S/N (bądź SNR), który informuje o stosunku siły sygnału do siły szumu. Wartość tę powinny podawać wszystkie profesjonalne odbiorniki GNSS, ale znajdziemy ją także w wielu aplikacjach dla smartfonów i tabletów (choćby GPS Test). Generalnie im wyższa wartość wskaźnika, tym lepiej. Jeśli chodzi o konkrety, to w fachowej literaturze podawane są różne optymalne wartości. Najczęściej jednak przyjmuje się, że parametr ten powinien wynosić przynajmniej 37 dB-Hz dla kanału L1 (dotyczy to szczególnie sygnałów nadawanych przez satelity widoczne wysoko nad horyzontem) [4].

Niektórzy producenci profesjonalnego sprzętu pomiarowego pozwalają jednak znacznie bardziej szczegółowo analizować spektrum fal radiowych. Przykładem jest choćby Leica Geosystems z oprogramowaniem Interference Toolbox czy Trimble z narzędziem Spectrum Analyzer (będącym częścią technologii Maxwell 7). Dzięki tego typu rozwiązaniom możemy nie tylko z większym prawdopodobieństwem stwierdzić zakłócenie, ale także określić jego typ oraz zakres częstotliwości, które obejmuje. Wielu użytkownikom takie funkcje wydają się zbyt skomplikowane i rozbudowane – przydatne raczej specem od telekomu-

Wykres ilustruje wartość wskaźnika S/N podczas testowego zagłuszania sygnałów GNSS (kolor szary: wyłączone zagłuszanie)



Fot. [7]

nikacji. Jednak w niektórych sytuacjach mogą one okazać się zbawienne, np. gdy przez dłuższy okres planujemy mierzyć na terenie, na którym stwierdziliśmy notoryczne problemy z zakłócaniem. Takie zaawansowane narzędzia potrafią pomóc nie tylko w identyfikacji jego źródła, ale także w wyborze optymalnego sposobu wyeliminowania wpływu tego zjawiska. Są ponadto nieocenione przy stwierdzaniu samozakłóceń.

Odrębną kwestią jest wykrywanie spoofingu. Choć z punktu widzenia geodetów zjawisko to wydaje się znacznie groźniejsze, w praktyce nie powinniśmy się go szczególnie obawiać. Po pierwsze, na ogół incydenty spoofingu dotyczą tylko jednego systemu nawigacji i/lub kanału. Wieloczęstotliwościowe odbiorniki powinny zatem łatwo wyłapać niezgodności pomiędzy poszczególnymi sygnałami. Po drugie, dotychczas odnotowane przez media przypadki spoofingu dotyczyły fałszowania pozycji o wiele kilometrów – to zaś można łatwo wykryć już na etapie pomiaru kontrolnego wymaganego od geodetów przez standardy geodezyjne (i zdrowy rozsądek).

### • Po drugie, wyeliminuj

Wykryć zakłócenie to jedno, ale poradzić sobie z jego skutkami, to już zupełnie co innego. Właściciele prostych, jednoczęstotliwościowych odbiorników są tu w zasadzie bezradni. W znacznie lepszej sytuacji znajdują się użytkownicy sprzętu do celów geodezyjnych. Ich producenci zgodnie deklarują, że dostępne na rynku instrumenty są odporne na różne przypadki zakłócania dzięki własnym opatentowanym technologiom [5].

Tylko co to znaczy w praktyce? Trudno precyzyjnie odpowiedzieć na to pytanie, gdyż na ogół są to rozwiązania działające na zasadzie „czarnej skrzynki” w myśl zasady, by geodeta nie musiał się o nic martwić. W praktyce wiele z tych patentów obejmuje zarówno rozwiązania hardware’owe (głównie odpowiednio skonstruowane anteny), jak i software’owe (specjalne algorytmy). Jeśli chodzi o te drugie, jednym z popularniejszych i podstawowych rozwiązań jest RAIM (*Receiver Autonomous Integrity Monitoring*). W dużym skrócie technologia polega na porównaniu poszczególnych sygnałów GNSS pod względem wzajemnej zgodności. Jeśli któryś z nich „odstaje” od innych, jest eliminowany z wyznaczania pozycji. Oczywiście pole zastosowań algorytmów RAIM jest znacznie szersze niż tylko walka z zakłóceniami.

Drugą grupą narzędzi są różnego rodzaju filtry, które minimalizują wpływ zakłócania na pracę odbiornika. Jednym z wielu przykładów jest filtr środkowozaporowy (*notch filter*) zmniejszający moc

w wąskim paśmie częstotliwości. Z kolei filtr HDR (zbieżność z terminem stosowanym w fotografii jest nieprzypadkowa) pozwala lepiej wyodrębnić sygnały GNSS z szumu. W praktyce ich użycie pozwala wyraźnie podnieść liczbę śledzonych satelitów, choć z drugiej strony nieco zwiększa zużycie baterii [6].

Oczywiście, zaczynamy tu wchodzić w zagadnienia bardzo specjalistyczne, odległe od tego, czym zajmuje się geodet. W większości profesjonalnych odbiorników owe filtry dobierane są zatem całkowicie automatycznie. Nie brak jednak produktów, które pozwalają uruchamiać je ręcznie, jak choćby oprogramowanie SmartTrack+ rozwijane przez Leica Geosystems. Warto jeszcze dodać, że o ile wspomniana wcześniej aplikacja Leica Interference Toolbox jest bezpłatna, o tyle w tym przypadku użytkownik musi już dokupić stosowną licencję. Fachowo do tematu pozwala podejść także amerykańska firma Javad GNSS – jeden z pionierów walki z zakłóceniami w odbiornikach geodezyjnych. W jej sprzęcie możliwe jest nie tylko wykrycie zakłócania czy spoofingu, ale także wskazanie orientacyjnego kierunku, z którego dochodzą do nas wrogie sygnały. A wszystko to z poziomu odbiornika. W przypadku mniej zaawansowanych instrumentów innych marek możliwość „ręcznej walki” z zakłóceniami na ogół ogranicza się do opcji manualnego odrzucania z obliczeń poszczególnych systemów czy sygnałów GNSS.

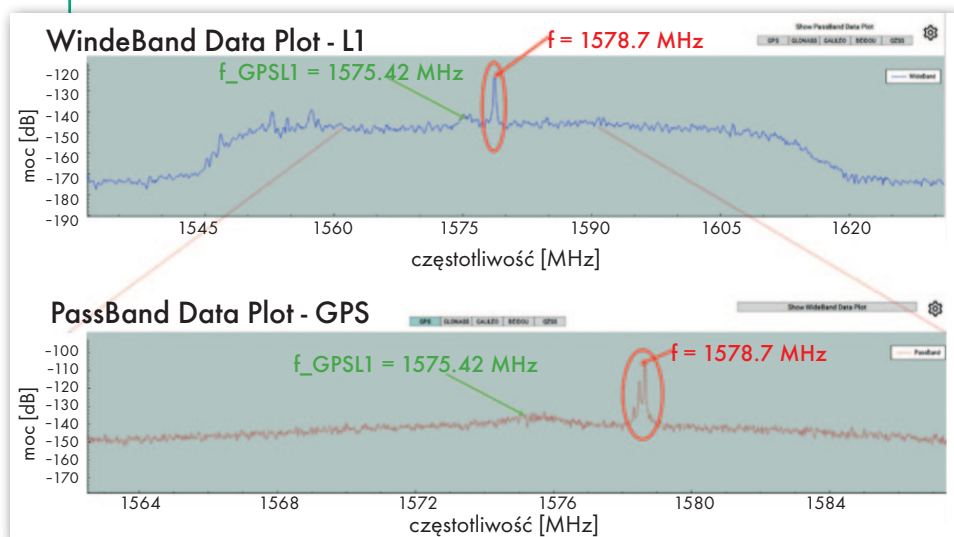
### • Odbiornik ma znaczenie

Wprawdzie zapewnienia producentów sprzętu geodezyjnego powinny nas



Fot. NovAtel

GAJT to seria wojskowych anten marki NovAtel cechujących się wysoką odpornością na zakłócenia



Fot. Leica Geosystems

Wykrywanie zakłóceń sygnałów GNSS przy użyciu narzędzia Leica Interference Toolbox

uspokajać, ale ile są warte w praktyce? Jeden z lepszych artykułów naukowych na ten temat opublikowała w czasopiśmie „Sensors” grupa słoweńskich badaczy w Uniwersytecie w Lublanie [4]. Sprawdzili oni, jak z zagłuszeniem radzi sobie 9 różnych modeli geodezyjnych odbiorników GNSS. W teście wykorzystano sprzęt marki Trimble, Javad oraz Leica Geosystems. Dla każdego z nich sprawdzono wpływ zakłócania na pracę zarówno w trybie kinematycznym, jak i statycznym przy różnej odległości instrumentu od jammera. Co istotne, w eksperymencie wykorzystano proste urządzenie zakłócające działające jedynie na kanale L1/E1. Wydawać by się zatem mogło, że powinno ono mieć ograniczony wpływ na poprawną pracę sprzętu wielosystemowego i wieloczęstotliwościowego. W praktyce skutki zakłócania okazały się jednak całkiem poważne.

Eksperyment przede wszystkim udowodnił, że żaden z badanych odbiorników nie okazał się w pełni odporny na wpływy zakłócania. Biorąc pod uwagę wspomnianą na wstępie niewielką moc sygnałów GNSS, nie powinno to jednak dziwić. Zaskoczeniem mogą być natomiast spore różnice w pracy poszczególnych instrumentów. Podczas gdy jedno w najgorszym przypadku w ogóle nie były w stanie wyznaczać pozycji, inne mierzyły w rozwiązaniu „float”. Słoweńscy naukowcy podkreślają jednak, że ten pierwszy przypadek wcale nie oznacza gorszego wyniku. Można bowiem uznać, że lepiej nie mierzyć wcale, niż dostarczać wadliwe rozwiązanie.

Badacze zwracają też uwagę, że niektóre odbiorniki radziły sobie wyraźnie lepiej dzięki odpowiedniemu wykorzystaniu sygnałów rosyjskiego systemu GLONASS, które nadawane są na innej częstotliwości niż GPS L1 i Galileo E1.

Eksperyment udowodnił ponadto, że zakłócanie wymiennie wpływa na dokładność pomiaru. Geodetów ten wniosek nie powinien jednak dziwić. Wiadomo bowiem, że zakłócanie zmniejsza liczbę satelitów wykorzystywanych przez odbiornik, a to obniża wskaźniki DOP mające bezpośredni wpływ na wynikowy błąd.

Zaskakiwać może natomiast to, że spore różnice między poszczególnymi odbiornikami odnotowano również po wyłączeniu zakłócania. Jedne instrumenty natychmiast odzyskiwały fixa, inne potrzebowały na to do kilkudziesięciu minut. W jednym przypadku dostrzeżono nawet uzyskanie rozwiązania „fix”, ale ze sporym błędem pomiarowym.

Dla geodetów najważniejszy wniosek z tego badania jest taki, że wszystkie dostępne na rynku precyzyjne odbiorniki GNSS do pewnego stopnia radzą sobie z zakłócaniem sygnałów, choć na bardzo różne sposoby. Cecha ta powinna być zatem ważnym kryterium przy zakupie instrumentu. Tylko jak ją wiarygodnie sprawdzić i porównać? Z tym, niestety, jest spory problem. Teoretycznie można by przeprowadzić samodzielne testy z użyciem taniego jammera. W praktyce jednak jego użycie jest nie tylko nielegalne, ale i potencjalnie niebezpieczne dla innych użytkowników!

## ● Ważna trzecia strona

W najbliższych latach z pewnością będziemy obserwowali intensywny „wścig zbrojeń” wokół zakłócania sygnałów GNSS. Z jednej strony powstawać będą coraz bardziej zaawansowane i skuteczne urządzenia do zagłuszania i spoofingu, które będzie można nabyć w coraz niższych cenach. Z drugiej strony producenci odbiorników satelitarnych będą rozwijali coraz bardziej złożone technologie do wykrywania i eliminacji różnego rodzaju

zakłóceń. Służyć mają temu nie tylko innowacyjne algorytmy czy anteny satelitarne, ale także podejście *sensor fusion*, czyli posilkowanie się wskazaniami np. jednostek inercyjnych. Tego typu rozwiązania już teraz stosowane są choćby w dronach.

Ale w tym wyścigu po naszej stronie jest jeszcze trzeci uczestnik – to administratorzy systemów GNSS. Wykorzystując najnowsze osiągnięcia technologiczne, wdrażają bowiem sygnały, które znacznie trudniej fałszować lub zakłócać. Przykładem jest kanał M uruchomiony w 2020 roku w ramach amerykańskiego systemu GPS. Rozwiązanie to dostępne jest jednak wyłącznie dla wybranych użytkowników wojskowych.

A na co mogą liczyć użytkownicy cywilni? W ramach europejskiego systemu Galileo już wkrótce powinna zostać dostępna usługa OSNMA (*Open Service Navigation Message Authentication*). To unikatowy mechanizm uwierzytelniania, który pozwoli kompatybilnym odbiornikom zweryfikować, czy odbierana przez nie wiadomość nawigacyjna faktycznie pochodzi z satelitów tego systemu. Nieco bardziej odległą perspektywą jest wystrzelenie nowej generacji satelitów GPS, które mają zaoferować selektywne zwiększanie mocy sygnału w odpowiedzi np. na przypadki zakłócania. Ponadto zarówno Unia Europejska, jak i Stany Zjednoczone rozważają wdrożenie rezerwowego systemu nawigacji stanowiącego alternatywę dla GNSS. Bieżące śledzenie rozwoju technologii satelitarnych staje się zatem ważne jak nigdy wcześniej.

Jerzy Królikowski

## Literatura

- [1] Septentrio: GNSS jamming and road tolling, <https://www.septentrio.com/en/learn-more/insights/gnss-jamming-and-road-tolling/>
- [2] GW Prime: GNSS Jamming: An Omnipresent Threat, <https://www.gwprime.geospatialworld.net/special-feature/gnss-jamming-an-omnipresent-threat/>
- [3] T. Morong, P. Puricer, P. Kovar: Study of the GNSS Jamming in Real Environment, „International Journal Of Electronics And Telecommunications”, vol. 65, nr 1/2019;
- [4] M. Bažec, F. Dimc, P. Pavlovič-Prešeren: Evaluating the Vulnerability of Several Geodetic GNSS Receivers under Chirp Signal L1/E1 Jamming, „Sensors” 3/2020;
- [5] GPS World: Receiver innovators log trends and product launches, <https://www.gpsworld.com/receiver-innovators-log-trends-and-product-launches/>;
- [6] YouTube: GNSS i interferencje – nowa opcja odbiorników ruchomych Leica Geosystems, [https://www.youtube.com/watch?v=\\_9o5BxLekXg](https://www.youtube.com/watch?v=_9o5BxLekXg);
- [7] D. Medina, C. Lass, E. Perez Marcos, R. Ziebold, P. Closasz, J. Garcia: On GNSS Jamming Threat from the Maritime Navigation Perspective, „2019 22th International Conference on Information Fusion”.