

Doroczny przegląd zmian w systemach nawigacji satelitarnej

# Precyzja priorytetem

Choć minęły już czasy częstych startów satelitów GNSS, to poszczególne systemy wciąż się zmieniają. Dla użytkowników oznacza to przede wszystkim lepszą dokładność pomiaru oraz większe bezpieczeństwo pracy.

**Jerzy Królikowski**

**A**dministratorzy wszystkich czterech globalnych systemów GNSS są zgodni – po latach wysiłków ich rozwiązania stały się dojrzałe i niezawodne, dzięki czemu zapewniają nie tylko deklarowaną dokładność pomiaru, ale również wysoką wiarygodność. Czy to oznacza, że nasz doroczny przegląd stracił sens? Nic z tych rzeczy! Niemal w każdym systemie już wkrótce zajdą bowiem zmiany, które powinny być odczuwalne dla użytkowników zarówno profesjonalnych, jak i amatorskich.

## • Wielokrotne korzyści w GPS

W amerykańskim systemie krok po kroku wystrzeliwane są kolejne satelity III generacji. Najnowszy, piąty z kolei, znalazł się na orbicie w połowie ubiegłego roku, a szósty powinien do niego dołączyć jeszcze w tym roku. Docelowo

firma Lockheed Martin wyprodukuje ich 10. Z punktu widzenia profesjonalnych użytkowników (w tym geodetów) kluczową zaletą bloku III jest poszerzenie zasięgu nowych cywilnych sygnałów, czyli L2C oraz L5. Ich pełna globalna dostępność powinna zostać osiągnięta na przełomie roku 2023 i 2024, to zaś przełoży się na dokładniejsze i bardziej wiarygodne pomiary z użyciem odbiorników dwu- i trzyczęstotliwościowych.

Właściciele prostszych instrumentów (w tym smartfonów i tabletek) powinni z kolei śledzić wdrażanie L1C, czyli gruntownie zmodernizowanego podstawowego cywilnego sygnału L1. Jak deklarują administratorzy GPS, ma on zapewnić nawet 3-krotnie wyższą dokładność pomiaru i aż 8-krotnie lepszą odporność na zakłócanie. Co istotne, L1C ma oferować „wsteczną kompatybilność” – korzystanie z jego zalet nie będzie zatem wymagało wymiany smartfonów. Niestety, na pełną dostępność tego

sygnału musimy jeszcze trochę poczekać – prawdopodobnie do końca bieżącej dekady.

Osiągnięcie tego celu umożliwić mają satelity kolejnej generacji, oznaczonej jako IIIIF. Umowę na opracowanie 22 takich aparatów podpisano z firmą Lockheed Martin w 2018 r., a pierwszy z nich ma znaleźć się w kosmosie na początku roku 2027. Ich głównym wyróżnikiem ma być „całkowicie cyfrowy ładunek nawigacyjny”. Mówiąc prościej: dotychczas rozbudowa systemu GNSS o nowe sygnały czy usługi wymagała de facto wymiany całej konstelacji satelitów, natomiast w przypadku bloku IIIIF wystarczy przeprogramowanie tych już wystrzelonych. Powinno to zatem pozwalać na znacznie szybszą ewolucję systemu. Interesującą nowością będzie także funkcja *Regional Military Protection Capability* polegająca na lokalnym zwiększaniu mocy sygnału. W praktyce zaoferuje ona wojskowym użytkownikom nawet 60-krotnie lepszą odporność na zagłuszanie! Generację IIIIF ma ponadto wyróżniać zamontowanie retroreflektorów, które zapewnią jeszcze dokładniejsze wyznaczanie orbit satelitów, a to przełoży się na dalszą redukcję błędów pomiaru. Żywotność serii IIIIF szacowana jest na aż 15 lat. Oczywiście jest to wartość minimalna – obecnie najstarszy satelita GPS pracuje już w kosmosie blisko ćwierć wieku!

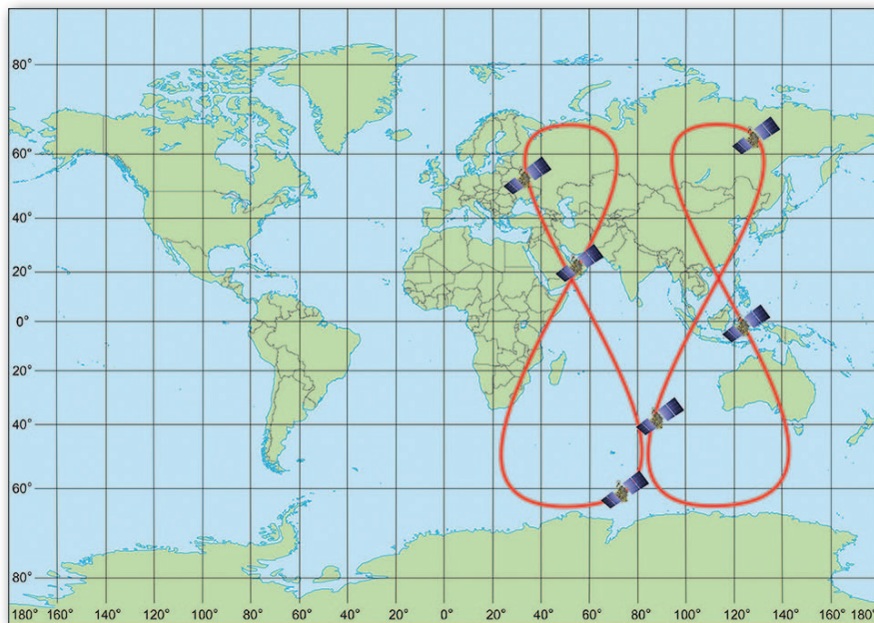
## • Lepiej widoczny GLONASS

W naszym przeglądzie GNSS wieści dotyczące rosyjskiego systemu GLONASS od lat rozpoczynamy od informacji o kolejnych opóźnieniach w jego modernizacji. Nie inaczej jest i tym razem. Przypomnijmy, że kłopoty z modernizacją GLONASS spowodowane są sankcjami gospodarczymi nałożonymi na Rosję po inwazji na Krym w 2014 r. Jako że objęły one również dostawę satelitarnych



Fot. Lockheed Martin

Wizualizacja satelity GPS bloku IIIIF



Proponowane orbity GLONASS typu High-Orbit Complex

komponentów, rosyjski przemysł musiał sam nauczyć się ich wytwarzania, a to okazało się trudniejsze, niż początkowo zakładano. W efekcie znacząco opóźniło się wystrzeliwanie satelitów nowej generacji K. Jeszcze dekadę temu planowano, że wypełnią one konstelację GLONASS już w 2020 r. Stan na dziś jest jednak taki, że na orbitę udało się wynieść jedynie dwa takie aparaty, i to testowe. Równoległe w kosmos wciąż trafiają satelity starej generacji M. Ale i z nimi nie jest najlepiej – aż 2/3 z nich przekroczyło już swój nominalny czas pracy!

Jeszcze w tym roku ma zostać wystrzelony pierwszy satelita najnowszej generacji K2, który zaoferuje wszystkie

planowane funkcje zmodernizowanego GLONASS. Przypomnijmy, że wśród nich jest m.in.: dłuższa żywotność satelitów, nadawanie sygnałów na nowym cywilnym kanale L3 czy lepsza interoperacyjność z pozostałymi systemami GNSS. Dla użytkowników najważniejsza jest jednak dokładność pomiaru. Wskaźnik SIS URE (dokładność sygnału w kosmosie, a więc bez uwzględnienia wpływu atmosfery) ma wzrosnąć z obecnego poziomu 1,4 m do raptem 0,3 m.

Start pierwszego aparatu K2 nie będzie jednak jeszcze powodem do satysfakcji. Drugi ma bowiem trafić na orbitę dopiero 2 lata później, a w dalszej kolejności konstelacja będzie wzbogacana średnio o dwa aparaty na rok. Wystrzelenie do-

celowych 24 satelitów zajmie więc sporo czasu.

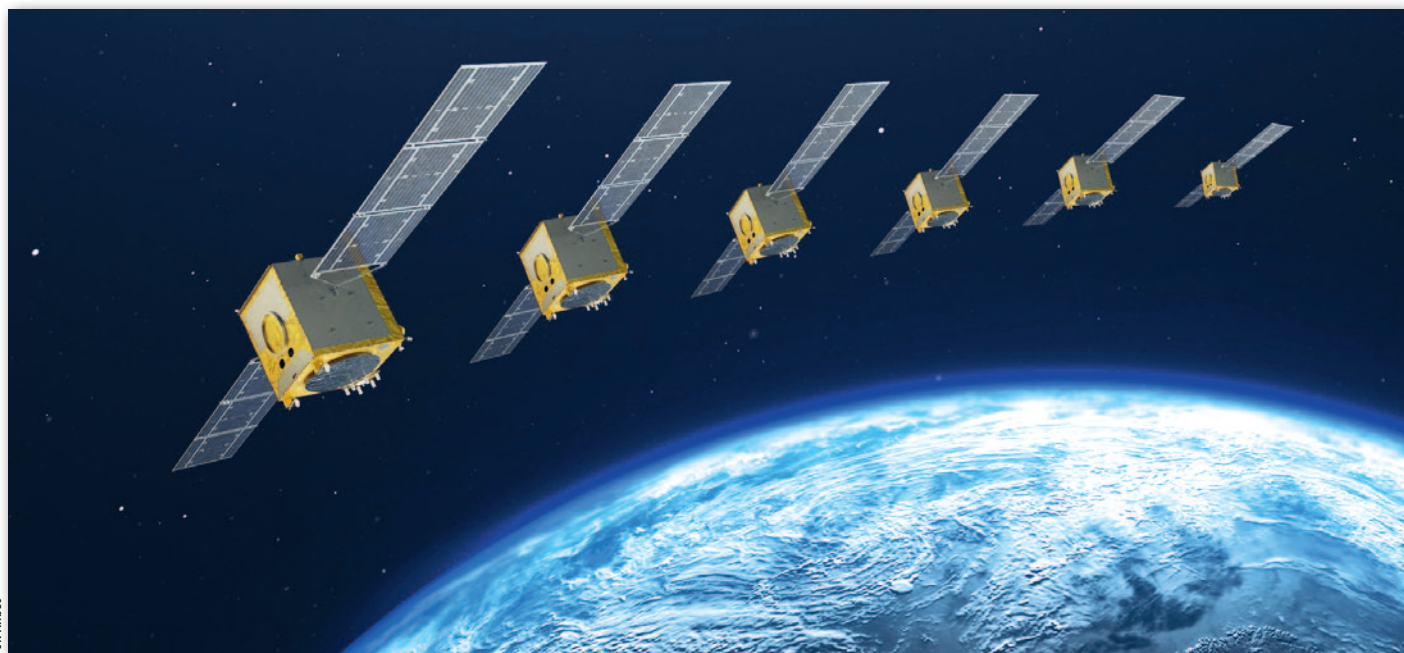
Interesującą nowością w planach modernizacji GLONASS jest rozwiązanie o nazwie *High-Orbit Complex* polegające na wystrzeleniu sześciu satelitów o zmodyfikowanych orbitach. Ich parametry dobrano tak, aby zapewniły lepszą widoczność tej konstelacji nad obszarem Rosji, co powinno przełożyć się nawet na 25-procentowy wzrost dokładności pomiaru. Pierwszy satelita na tego typu na orbicie miałby znaleźć się w 2026 r.

Równoległe trwają prace nad SDCM (*System for Differential Corrections and Monitoring*) – systemem typu SBAS zapewniającym satelitarne korekty dla sygnałów GLONASS. Jednym z jego elementów ma być usługa precyzyjna, która właścicielom kompatybilnych odbiorników dwuczęstotliwościowych zapewni na terenie Rosji dokładność pomiaru na poziomie 10 cm, a docelowo nawet 5 cm.

Biorąc pod uwagę, że tuż przed zamknięciem tego wydania GEODETY na Rosję nałożono bezprecedensowe sankcje gospodarcze, opisane wyżej plany modernizacji GLONASS prawdopodobnie opóźnią się o kolejne lata.

## ● Szybko ku nowej generacji Galileo

Choć europejski system nawigacji stał się dla wielu użytkowników codziennym elementem pomiarów, to nie zapominajmy, że wciąż nie osiągnął pełnej operacyjności! Do tego potrzeba bowiem 24 sprawnych aparatów, a dziś pracuje ich 22 (start ostatniej pary odbył się pod koniec 2021 r.). Ale na ogłoszenie tego



Satelity Galileo II generacji



Fot. EUSPA

Stanowisko nowego segmentu kontrolnego Galileo (GCS)

przełomowego momentu nie będziemy czekać zbyt długo. Według zapowiedzi Europejskiej Agencji Kosmicznej najbliższe podwójne starty powinny nastąpić wiosną i jesienią. Krótko mówiąc, system Galileo powinien być kompletny już w tym roku.

Jego administratorzy nie zamierzają jednak spoczywać na laurach. W pierwszej kolejności planują wystrzelenie jeszcze 10 satelitów pierwszej generacji. Mają one zastępować najstarsze aparaty Galileo, a także – w razie awarii – pełnić funkcję urządzeń rezerwowych.

Kolejnym krokiem milowym jest ogłoszenie pełnej operacyjności usługi precyzyjnej (HAS – *High Accuracy Service*). W jej ramach na kanale E6b satelity Galileo będą w otwartym formacie nadawać korekty PPP (*Precise Point Positioning*). Co ważne, mają one być dostępne również przez internet. Usługa będzie wspierać nie tylko sygnały Galileo (E1, E5a, E5b, E6), ale także GPS (L1, L2C, L5). Jej wykorzystanie w kompatybilnych odbiornikach obsługujących przynajmniej dwie częstotliwości pozwoli wyznaczać pozycję z dokładnością nie gorszą niż 20 cm. Z kolei błąd określania wysokości nie powinien przekraczać 40 cm. Usługa HAS będzie dostępna na dwóch poziomach. Pierwszy obejmie cały świat, a drugi – tylko Europę. Główna różnica między nimi tkwi w czasie konwergencji, czyli oczekiwania na precyzyjny pomiar. W przypadku poziomu pierwszego nie powinien on przekraczać 5 minut, a drugiego – 100 sekund. Planowana dostępność usługi powinna wynieść 99%.

Testy HAS już trwają, natomiast wstępne uruchomienie serwisu (początkowo tylko dla poziomu 1) zaplanowano na ten rok, a ogłoszenie pełnej operacyj-

ności – na rok 2024. Niektórzy producenci sprzętu satelitarne już teraz deklarują kompatybilność swoich produktów z HAS. Pierwszą taką deklarację złożyła firma Eos Positioning Systems w odniesieniu do swoich urządzeń z serii Arrow. Biorąc pod uwagę, że usługa ta ma być całkowicie bezpłatna, już dziś warto dopytywać dystrybutorów odbiorników o kompatybilność z HAS.

Kolejnym krokiem milowym w rozwoju Galileo będzie budowa i wystrzelenie satelitów nawigacyjnych drugiej generacji. W porównaniu z planami modernizacji GPS czy GLONASS Europejczycy chcą tu działać zaskakująco szybko. Umowy na budowę 12 satelitów za 1,5 mld euro podpisano bowiem w połowie 2021 r., a pierwsze aparaty mają się znaleźć na orbicie już w roku 2024!

Według zapowiedzi ESA wręcz zrewolucjonizują one Galileo. Przede wszystkim będą wyposażone w całkowicie cyfrowy ładunek nawigacyjny. Jak już wspomnieliśmy przy okazji GPS, pozwoli to dynamicznie dostosowywać ten system do zmieniających się potrzeb użytkowników, sprawnie udostępniając im nowe sygnały i usługi. Po drugie, lepsza antena nadawcza zapewni mocniejszy sygnał, bardziej odporny na zakłócanie. Po trzecie, aparaty będą mogły nawiązywać między sobą łączność, co pozwoli lepiej monitorować ich stan. Po czwarte, zapewnią szybszą inicjalizację pomiaru i zmniejszone zużycie energii mające spore znaczenie w takich zastosowaniach, jak drony czy internet rzeczy (IoT). I wreszcie po piąte, nowa generacja Galileo pozwoli rozsyłać do użytkowników kompatybilnych urządzeń powiadomienia o zagrożeniach (np. tsunami). Usługa ta, zwana *Emergency Warning Service*, w pierwszej ko-

lejności będzie dostępna w Europie. Co równie istotne, tego typu wiadomości będą docierały niezależnie od dostępności usług telekomunikacyjnych. Na razie informacje o nowych możliwościach satelitów Galileo II generacji są dość ogólnikowe – konkrety mamy poznać w ciągu najbliższych miesięcy.

### • BeiDou z naciskiem na aplikacje

Po iście sprinterskim tempie budowy chińskiego systemu nawigacji (rocznie wystrzeliwano nawet 10 satelitów!) jego administratorzy chcą chyba złapać oddech. Na razie nie informują bowiem o żadnych planach modernizacji systemu. Zamiast tego priorytetem na najbliższe lata ma być promowanie wykorzystania poszczególnych usług BeiDou. A warto wspomnieć, że wśród nich jest serwis wysokiej dokładności, który – podobnie jak wspomniany serwis Galileo HAS – wykorzystuje technikę PPP czasu rzeczywistego. Według deklaracji administratorów BeiDou rozwiązanie to zapewnia dokładność pomiaru poniżej 20 cm sytuacyjnie i 40 cm wysokościowo. Czas konwergencji nie powinien przekraczać 20 minut. W przeciwieństwie do HAS usługa ta dostępna jest jednak tylko na obszarze Azji Południowo-Wschodniej.

### • Korekty dla każdego

Inicjatyw mających upowszechnić precyzyjne pozycjonowanie jest jednak znacznie więcej, a głównym motorem zmian są coraz bardziej zaawansowane prace nad pojazdami autonomicznymi. Nim auta te wyjadą na nasze drogi, trzeba im zapewnić przystępną cenowo i jednocześnie wiarygodną technologię wyznaczającą pozycję z dokładnością do pojedynczego pasa ruchu. W odpo-

wiedzi na to zapotrzebowanie powstają kolejne komercyjne usługi oferujące satelitarne korekty PPP-RTK. Najnowszy przykład to udoskonalona usługa TerraStar-C Pro kanadyjskiej firmy NovAtel. Bazuje ona na rozwijanej przez szwedzką grupę Hexagon technologii RTK From the Sky. Umożliwia prowadzenie na całym świecie pomiarów o dokładności porównywalnej z techniką RTK, z czasem konwergencji na poziomie około 3 minut, niemal natychmiastową rekonwergencją i dostępnością sięgającą 99,999%.

W 2020 r. podobną usługę uruchomiła też Sapcorda – przedsiębiorstwo typu joint venture firm Bosch, Geo++, Mitsubishi Electric oraz u-blox. Jej serwis SA-PA (*Safe And Precise Augmentation*) dostępny jest zarówno przez sygnał satelitarne, jak i internet, oferując dokładność wyznaczania pozycji sięgającą 10 cm. Na razie usługa działa tylko w Europie i Stanach Zjednoczonych.

Podobnym rozwiązaniem są korekty SkyLark amerykańskiej firmy Swift Navigation. W tym przypadku bardzo interesująco prezentują się wyniki testów z wykorzystaniem odbiorników jednoczesnościowych (a więc tych tańszych i popularniejszych). Spółka zapewnia, że dzięki SkyLark ich dokładność poprawia się z 2 metrów od nawet 0,7 metra, i to bez konieczności modyfikacji sprzętu – wystarczy aktualizacja firmware'u.

Dzieje się również w Wielkiej Brytanii. W poprzednich wydaniach przeglądu wspominaliśmy o pomysle wybudowania przez Brytyjczyków własnego systemu nawigacji. Ten szalenie ambitny (i niezwykle kosztowny) pomysł był oczywiście reakcją na brexit i odcięcie tego kraju od projektu Galileo. Ostatecznie został on jednak porzucony. Ale Zjednoczone Królestwo wciąż chce mieć swoje niezależne rozwiązanie nawigacyjne. Najnowsza koncepcja realizacji tego celu to brytyjski system augmentacji UK SBAS bazujący na wystrzelonym już geostacjonarnym satelicie telekomunikacyjnym serii Inmarsat. Miałby on zapewniać dokładność pozycjonowania na poziomie nawet pojedynczych centymetrów. Testy systemu mają się zakończyć dość szybko, bo już w połowie tego roku.

A co w Polsce? Obiecujące są zapowiedzi głównego geodety kraju o darmowym udostępnieniu usług ASG-EUPOS. Dla kogo i kiedy? Tego, niestety, jeszcze nie wiemy. W planach na najbliższe miesiące jest także wymiana najstarszych odbiorników referencyjnych sieci ASG-EUPOS oraz uruchomienie kilku nowych stacji – w pierwszej ko-

lejności w Kołobrzegu (woj. zachodniopomorskie), Braniewie (warmińsko-mazurskie), Oleśnicy (dolnośląskie) oraz Końskich (świętokrzyskie).

## • Kwestia bezpieczeństwa

By nie zakończyć tego przeglądu zbyt optymistycznie, odnotujmy, że w branży GNSS coraz głośniej mówi się o zagrożeniu związanym z zakłócaniem sygnałów nawigacyjnych [więcej w GEODECIE 2/2022]. Użytkownicy odbiorników satelitarnych często na własnej skórze przekonują się o skutkach tych działań. Ich źródłem są nie tylko operacje wrogich

ze zjawiskiem spoofingu, czyli nadawaniem fałszywych sygnałów GNSS. Na razie funkcja ta jest na etapie testów.

Kolejne zagrożenie to cyberterroryzm. Skoro hakerzy mogą sparaliżować funkcjonowanie banków, urzędów czy kolei, to czemu nie nawigacji satelitarnej? Szczęśliwie administratorzy poszczególnych systemów są coraz bardziej świadomi tego zagrożenia, dlatego wdrażają odpowiednie modyfikacje w segmencie naziemnym. Dzieje się tak również w Galileo, czego efektem jest uruchomienie pod koniec 2021 roku III generacji segmentu kontrolnego.



Fot. Eos Positioning Systems

Arrow Gold+ to jeden z pierwszych odbiorników kompatybilnych z usługą Galileo HAS

wojsk, ale i złodzieje samochodów czy nieuczciwi pracownicy, którzy nie chcą być śledzeni w służbowych pojazdach. Szczęśliwie administratorzy niektórych systemów GNSS podejmują działania pozwalające lepiej radzić sobie z tymi problemami. W przypadku GPS i Galileo w planach jest choćby zwiększenie mocy sygnałów. Dodatkowo w ramach europejskiego systemu wdrażana jest unikatowa funkcja OSNMA (*Open Service Navigation Message Authentication*). To mechanizm uwierzytelniania umożliwiający kompatybilnym odbiornikom zweryfikowanie, czy odbierana wiadomość nawigacyjna faktycznie pochodzi z satelitów tego systemu. Ułatwi to walkę

Ale zagrożenia dla systemów GNSS mogą mieć też charakter czysto fizyczny. Przykładem są rosyjskie groźby zestrzelenia satelitów GPS wystosowane wobec NATO w związku z napiętą sytuacją wokół Ukrainy. Kreml zrobił już nawet „pokazówkę”, niszcząc za pomocą specjalnej rakiety własnego satelitę teledetekcyjnego. Oczywiście co innego zestrzelić obiekt kilkaset kilometrów nad Ziemią, a co innego urządzenie orbitujące w odległości ponad 20 tys. km od naszej planety. Ale już samo wystosowanie takiej groźby pokazuje, że nawigację satelitarną czekają bardzo niespokojne i nieprzewidywalne czasy.

Jerzy Królikowski