

Doroczny przegląd zmian w systemach nawigacji satelitarnej

Ewolucja musi trwać

Po latach oczekiwań mamy wreszcie do dyspozycji cztery globalne systemy nawigacji satelitarnej. A ich administratorzy wcale nie zamierzają spoczywać na laurach i już szykują nowe generacje swoich rozwiązań. Jakie będziemy mieli z tego korzyści?



Wizualizacja satelity GPS III F

Fot. Lockheed Martin

Jerzy Królikowski

Nasze coroczne artykuły na ten temat po wielokroć udowodniły, że budowa systemów GNSS jest zadaniem niezwykle trudnym, złożonym i kosztownym. Choć wszystkie cztery programy prześladał mniejszy lub większy pech, nikomu nawet nie przeszło przez myśl, by je zarzucić. Posiadanie własnej nawigacji satelitarnej to bowiem nie tylko kwestia prestiżu, ale i bezpieczeństwa militarnego oraz gospodarczego. Dlatego administratorzy poszczególnych rozwiązań z uporem dążyli do ukończenia budowy, a teraz wdrażają kolejne pomysły na ich udoskonalanie.

• Bardziej elastyczny GPS

Najnowszym usprawnieniem w amerykańskim systemie jest uruchomienie w grudniu 2020 r. sygnału M. Obecnie jest on nadawany przez 23 satelity, a jego kluczową zaletą jest znacznie większa odporność na zakłócanie i spoofing (nadawanie fałszywych sygnałów). I choć kanał ten jest dostępny jedynie dla uprawnionych użytkowników wojskowych, wspomina-

my o nim, gdyż innowacja ta dobrze pokazuje, w jakim kierunku będą ewoluować systemy GNSS. Zakłócanie i spoofing stanowią bowiem coraz większe zagrożenie na całym świecie. Jego źródłem są nie tylko wrogie działania wojsk Rosji, Iranu czy Korei Północnej, ale także niewielkie i tanie zestawy podłączane do zapalniczki samochodowej. Na marginesie wspomnijmy, że przetarg na zakup własnych systemów zakłócania GNSS rozpiął niedawno również nasz MON!

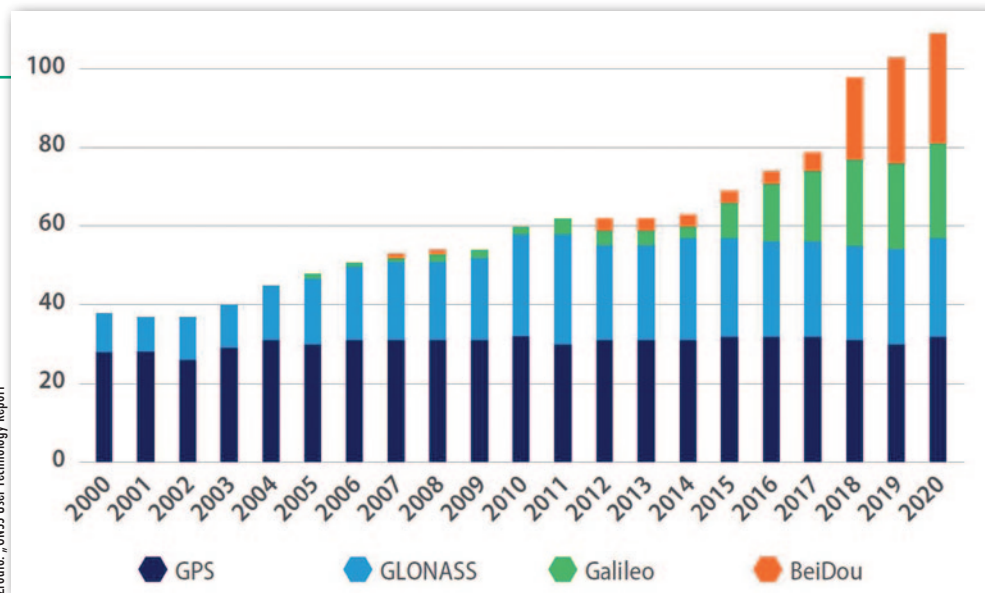
Ale i cywilni użytkownicy odczuwają korzyści z modernizacji GPS. Na razie kluczowe jest rosnące pokrycie świata dodatkowymi sygnałami L2C oraz L5. Ich pełna dostępność ma być osiągnięta odpowiednio w roku 2023 i 2027. Sygnały te są jednak wykorzystywane głównie przez profesjonalistów. A co z przeciętnymi konsumentami? O nich administratorzy GPS też nie zapominają. Szykują bowiem nowy podstawowy cywilny kanał L1C (w miejsce obecnego L1 C/A). Ma on zapewnić nawet 3-krotnie wyższą dokładność pomiaru oraz 8-krotnie lepszą odporność na zakłócanie, a do tego być bardziej kompatybilny z innymi systemami GNSS. Niestety, na globalną do-

stępność L1C jeszcze trochę poczekamy – ogólnikowe zapowiedzi mówią o końcu bieżącej dekady. Na razie sygnał ten jest nadawany raptem przez cztery z docelowych 24 satelitów III generacji.

Na tym jednak nie koniec zmian – kolejne wprowadzi blok aparatów oznaczonych jako III F. Kontrakt na ich zaprojektowanie i budowę podpisano w 2018 r. z firmą Lockheed Martin, a pierwsze starty planowane są w 2026 r. Głównym wyróżnikiem nowych aparatów ma być większa elastyczność konstelacji. Zmiany w pracy satelitów będzie można bowiem wprowadzać już po ich wystrzeleniu, co zdecydowanie usprawni wdrażanie innowacji technologicznych. Pozwoli to też regionalnie zwiększać moc nadawanego sygnału. Blok III F ma ponadto stabilniejsze zegary atomowe, które powinny przełożyć się na jeszcze wyższą dokładność wyznaczania pozycji i czasu.

• GLONASS: K jak „kiedy wreszcie”

Z kolei w rosyjskim systemie nawigacji wszystko po staremu. Na orbicie wciąż dominują satelity bloku M (27 z 28 operacyjnych), a administratorzy wciąż zapowiadają, że kolejne aparaty nowej generacji K trafią na orbitę „łada moment”. Ten moment ciągnie się już od roku 2014, a konkretnie od nałożenia na Rosję sankcji gospodarczych w odwecie za zajęcie Krymu. Sprawily one, że Rosjanie zostali pozbawieni dostępu do importowanych komponentów satelitarnych, musieli zatem samodzielnie opanować technologię ich wytwarzania. Najnowszy rozwój wydarzeń pokazuje, że chyba już im się to udało. W październiku ub.r., po kilkuletniej przerwie, wystrzelono bowiem trzeciego satelitę K, a plany na ten rok zakładają starty kolejnych pięciu (w tym dwóch wyższego bloku K2). Przypomnijmy, że generację tę ma wyróżniać m.in. dłuższa żywotność aparatów, wyższa dokładność pozycjonowania, nadawanie trzeciego kanału cywilnego (L3) oraz lepsza kompaty-



Zmiana liczby operacyjnych satelitów GNSS na orbicie średniej (MEO)

bilność z pozostałymi systemami GNSS. W planach administratorów tego systemu na najbliższą przyszłość pojawiła się niedawno ciekawostka określana skrótami HOSC (*High Orbit Space Complex*) bądź GLONASS-V. Chodzi o wystrzelenie do 6 satelitów, które znajdą się na nietypowej orbicie eliptycznej. Będzie ona tak dopasowana, by zapewnić lepszą widoczność aparatów GLONASS nad północno-wschodnimi obszarami Rosji, co powinno podnieść dokładność pozycjonowania nawet o 25%. Pomysł ma zostać zrealizowany do roku 2027.

• Galileo myśli o drugiej generacji

Jeśli chodzi o europejski system GNSS, zorientowani czytelnicy zwrócą uwagę, że – wbrew temu, co napisaliśmy

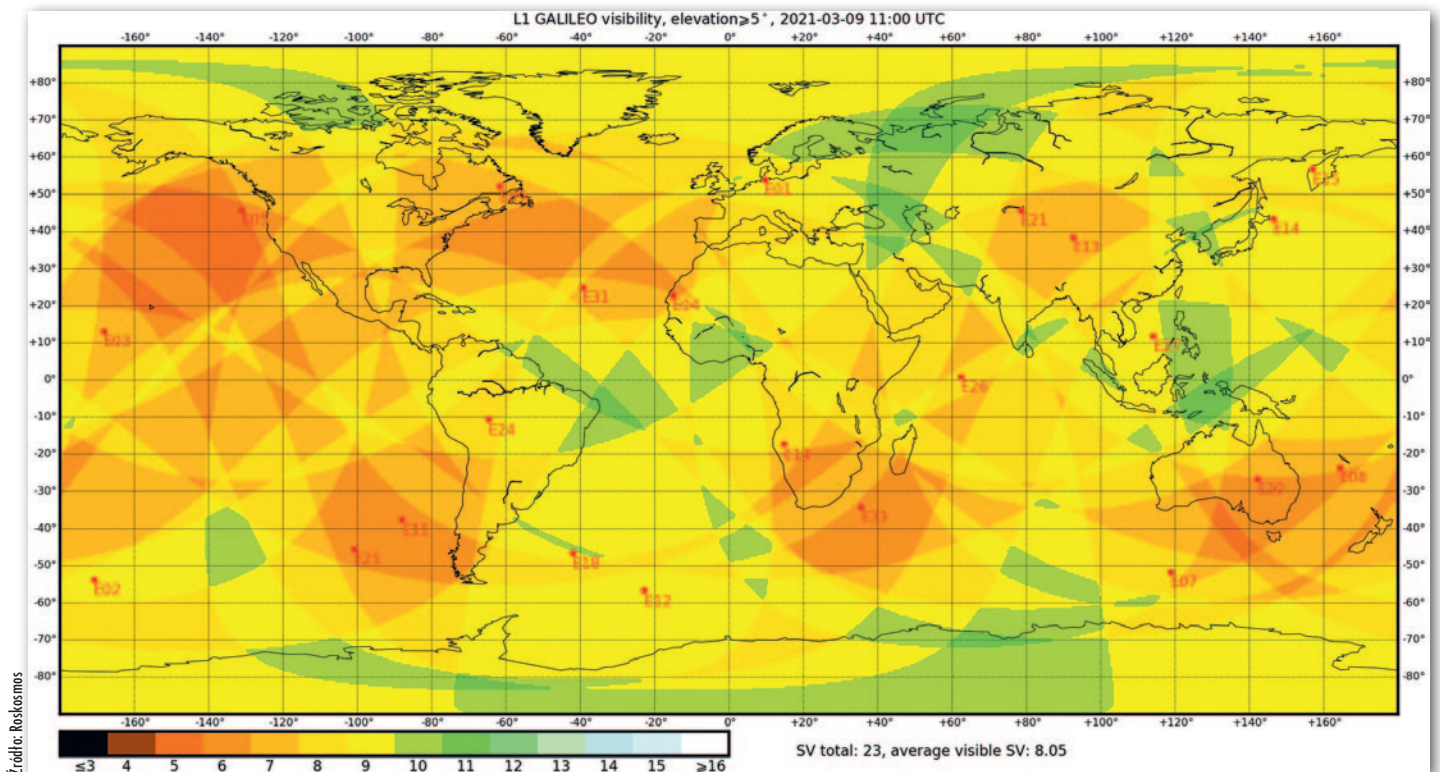
na wstępie – Galileo wcale nie jest jeszcze gotowy. I teoretycznie mają rację, bo do kompletu brakuje 3 satelitów. Ale w praktyce te, które już są, zapewniają samodzielne wyznaczanie pozycji, a nawet oferują jakość pozycjonowania lepszą niż inne systemy GNSS. Konkretnie badania na ten temat (choćby Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu) na bieżąco opisujemy na Geoforum.pl.

Zresztą ten stan niekompletności nie potrwa długo. Kończy się bowiem produkcja trzeciej transzy satelitów, z której pierwsze mają wystartować jeszcze we wrześniu 2021 r. Przyszłość systemu do końca dekady wydaje się zatem zabezpieczona. A co dalej?

Później na orbitę zaczną trafiać satelity drugiej generacji, oznaczone skrót-

tem G2G. Podobnie jak aparaty GPS III F ma je cechować większa elastyczność pracy, tj. możliwość rekonfiguracji już po wystrzeleniu, co znacznie ułatwi wdrażanie nowych usług. Sygnały nadawane przez G2G mają ponadto: być dokładniejsze, umożliwiać szybszą inicjalizację pomiaru oraz obniżyć zużycie energii w odbiorniku. Konstelacja ma być także tańsza w utrzymaniu. Umowę na budowę pierwszych 12 satelitów G2G podpisano w styczniu br. Za blisko 1,5 mld euro wyprodukują je firmy Airbus oraz Thales Alenia Space. Harmonogram prac jest ambitny – pierwszy start wyznaczono już na rok 2024.

Tu pora na polityczną dygresję. Zdecydowaną większość satelitów Galileo (20 z 24) zbudowało konsorcjum kierowane przez brytyjską spółkę SSTL. Jako że 1 stycznia 2021 r. Wielka Brytania opuściła Unię Europejską, firma ta została odcięta od intratnego kontraktu. Na tym nie koniec nawigacyjnych konsekwencji brexitu, bo w jego wyniku Brytyjczycy nie będą mogli korzystać z tzw. usługi regulowanej publicznie Galileo (PRS) – serwisu bardziej odpornego na zakłócanie, przeznaczonego dla uprawnionych służb. W tej sytuacji rząd nad Tamizą rozważa nawet budowę własnego systemu GNSS, na razie skończyło się jednak na wstępnych zapowiedziach.



Widoczność satelitów Galileo

Nic dziwnego – koszty takiej fanaberii słyby bowiem w miliardy funtów.

Ale wróćmy do planów rozwoju Galileo, tym razem tych mniej odległych. Z punktu widzenia geodezji kluczowe jest uruchomienie usługi precyzyjnej (tzw. HAS) bazującej na technologii PPP (o jej zaletach i wadach pisaliśmy w GEODECIE 12/2017). Dzięki korektom nadawanym na sygnale E6b oraz przez internet umożliwi ona kompatybilnym odbiornikom wyznaczanie pozycji z dokładnością nie gorszą niż 20 cm. Czas konwergencji (czyli inicjalizacji precyzyjnego pomiaru) ma z kolei wynosić do 100 sekund w Europie i poniżej 5 minut na całym świecie. A wszystko to całkowicie bezpłatnie! Uruchomienie usługi zaplanowano na rok 2022, a pełna operacyjność zostanie osiągnięta dwa lata później.

Drugą ważną nowość stanowi OSNMA – pod skrótem tym kryje się mechanizm uwierzytelniania, który pozwoli weryfikować, czy odbierana depecha nawigacyjna faktycznie pochodzi z satelitów tego systemu. Istotnie ułatwi to walkę ze

• BeiDou mierzy wysoko

Najmniej wiadomo o zmianach planowanych przez Chińczyków. Ale trudno czynić im z tego zarzut, przecież dopiero 4 sierpnia 2020 roku oficjalnie ogłosili zakończenie budowy BeiDou. Rozwiązanie jest wyjątkowe chociażby ze względu na liczbę satelitów oraz różnorodność orbit. Konstelacja BeiDou-3 składa się bowiem z 35 aparatów rozmieszczonych nie tylko – jak w pozostałych systemach – na orbicie średniej, ale także na geostacjonarnej i geosynchronicznej (z punktu widzenia użytkowników w Polsce przydatność tych dwóch ostatnich jest jednak niewielka). A do tego trzeba jeszcze dodać 15 satelitów starszej generacji II, które wciąż pracują!

Administratorzy BeiDou są tradycyjnie oszczędni w słowach. Na razie nie mówią nic konkretnego o dalszym rozwoju systemu. Zamiast tego podkreślają, że teraz ważna jest przede wszystkim jego promocja wśród potencjalnych użytkowników. I trzeba przyznać, że wiedzą, jak to robić. Kluczowym elementem kam-

Kolejnym krokiem będzie popularyzacja sprzętu wieloczęstotliwościowego – powszechnego w instrumentach geodezyjnych (77%), ale wciąż rzadko spotykanego w elektronice użytkowej (poniżej 30%). Ten odsetek z pewnością będzie jednak szybko rósł, a oczywistą konsekwencją stanie się powszechne wykorzystanie precyzyjnych korekt RTK oraz RTK-PPP. Na rynku pojawili się już pierwsi dostawcy satelitarnych poprawek „dla mas”. To przede wszystkim Sapcorda (usługa SAPA) oraz Swift Navigation (Skylark) – oba serwisy są dostępne również na terenie Polski.

W dyskusjach o przyszłości nawigacji satelitarnej coraz częściej pada także skrót LEO, od *Low Earth Orbit*. Skoro kolejne podmioty umieszczają na niskiej orbicie setki satelitów telekomunikacyjnych, czemu nie wykorzystają ich do nadawania sygnałów nawigacyjnych? Zaletą tego rozwiązania byłaby chociażby znacznie większa moc dochodzącego sygnału, która pozwoliłaby wyznaczać pozycję w miejscach dotychczas niedostępnych dla nawigacji satelitarnej. Plan budowy takiego systemu ogłosiła już firma Xona Space System, ale na razie nie zdradza żadnych szczegółów.

Wkrótce wyznaczanie pozycji zrewolucjonizują również sieci komórkowe piątej generacji (5G). Choć ruszyły już w wielu krajach (w tym w Polsce), wciąż nie bardzo wiadomo, jaką dokładność zaoferują – raport GSA mówi nawet o precyzji submetrowej. Jego autorzy przewidują zresztą, że kombinacja technologii GNSS i 5G stanie się dominującym sposobem wyznaczania pozycji.

Nawigację rewolucjonizują także innowacyjne algorytmy. Świetnym przykładem jest opracowana przez Google'a funkcja „3D mapping aided corrections module” dostępna już w wielu smartfonach z Androidem. Znacząco zmniejsza ona błąd pomiaru w obszarze zabudowanym dzięki wykorzystaniu modeli 3D budynków, które pomagają ograniczyć efekt wielodrożności sygnału.

Jak pokazuje nasz tegoroczny przegląd, technologie nawigacyjne zmieniają się w coraz szybszym tempie, a z zalet tych innowacji korzystają już nie tylko profesjonaliści, ale i zwykli konsumenci. Jeszcze dwie dekady temu precyzyjne pozycjonowanie było obarczone wieloma ograniczeniami i mogli po nie sięgać jedynie najzamożniejsi geodeci. A już za kilka lat centymetrowa dokładność ze smartfona raczej nikogo nie zdziwi.

Jerzy Królikowski

(artykuł został opublikowany również w NAWI 2021 dostępnym na Geoforum.pl)



Fot. CHC Nav

Pomiary Everestu z wykorzystaniem systemu BeiDou

spoofingiem. Usługa – powszechnie dostępna i bezpłatna – będzie wymagała posiadania kompatybilnego odbiornika. Warto też dodać, że na razie jedynie Galileo planuje uruchomienie takiego rozwiązania. Trzecia nowość dotyczy usługi poszukiwawczo-ratunkowej (SAR). Od ubiegłego roku pozwala ona zarówno przekazać wiadomości SOS do centrum ratunkowego, jak i odesłać do kompatybilnego odbiornika informację zwrotną.

Skoro piszemy o europejskich rozwiązaniach, trzeba też wspomnieć o EGNOS. Na razie ten system wspomagania oferuje satelitarne korekty tylko dla jednego sygnału GPS (L1). Ale docelowo będzie obsługiwał również Galileo, i to na dwóch częstotliwościach (E1 i E5). Wszystkie te zmiany mają zostać wdrożone do 2025 roku, co pozwoli wyznaczać pozycję z dokładnością nawet submetrową!

panii promującej uruchomienie BeiDou był bowiem zeszłoroczny pomiar Mount Everestu, do którego użyto i chińskiego odbiornika (konkretnie marki CHC Nav), i chińskich sygnałów nawigacyjnych. Na marginesie dodajmy, że ostateczny wynik (8848,86 m n.p.m.) uzgodniono z geodetami z Nepalu, którzy z kolei użyli sprzętu amerykańskiego.

• Nawigacyjne trendy

Ale przecież nawigacja satelitarna to nie tylko segment kosmiczny. Również w segmencie użytkownika sporo się zmienia – pokazuje najnowsza edycja „GNSS User Technology Report”, publikacji wydawanej przez Europejską Administrację ds. GNSS (GSA). Ani się nie obejrzelismy, a normą stały się odbiorniki wielosystemowe. Z samego GPS korzysta już zaledwie 1/4 urządzeń.