

Doroczny przegląd rozwoju technologii GNSS

Czas przełomu

Jeśli wszystko pójdzie zgodnie z planem, do końca 2020 roku będziemy dysponowali czterema w pełni operacyjnymi globalnymi systemami nawigacji satelitarnej. Oznacza to wiele korzyści dla użytkowników.

Jerzy Królikowski

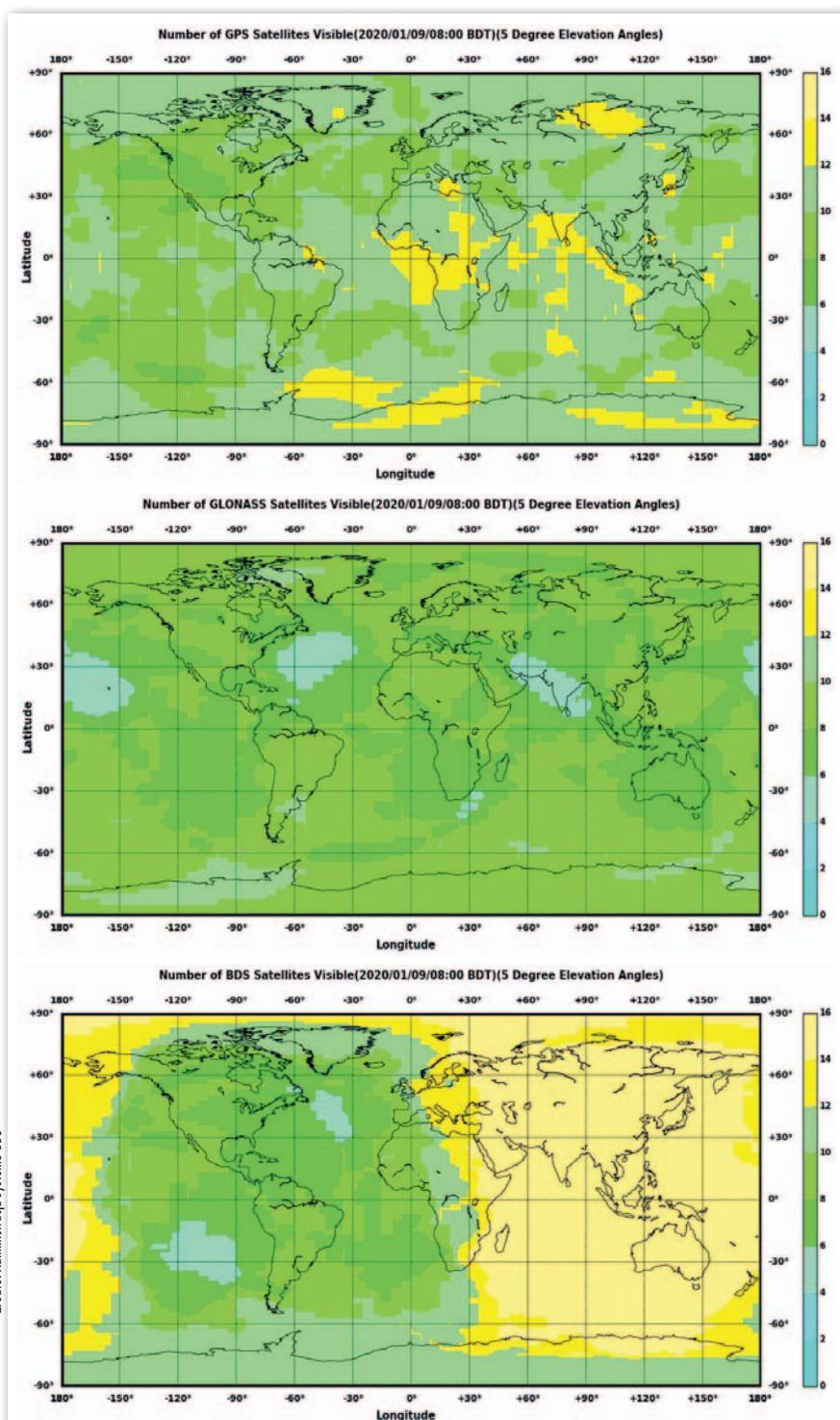
Pierwsza z tych korzyści związana jest z większą liczbą satelitów nawigacyjnych. Cztery światowe systemy GNSS tworzą dziś konstelację składającą się aż ze 111 aparatów, a do tego trzeba przecież jeszcze doliczyć rozwiązania regionalne. To bogactwo oznacza przede wszystkim dokładniejsze, szybsze i wiarygodniejsze wyznaczanie pozycji w trudnych warunkach pomiarowych – wśród wysokiej zabudowy, w lesie czy w obniżeniach terenu. W takich miejscach nie tylko coraz łatwiej „łapać фикса”, ale można także liczyć na całkiem przyzwoitą dokładność.

W rozbudowie systemów GNSS chodzi jednak nie tylko o dodatkowe satelity. Nie mniejsze znaczenie mają nowe i zmodernizowane sygnały nawigacyjne. Sprawiają one, że osiągnięcie wysokiej precyzji pomiaru staje się dostępne już nie tylko dla właścicieli drogich, geodezyjnych odbiorników. Nowe sygnały zwiększają ponadto odporność sprzętu nawigacyjnego na celowe lub przypadkowe zakłócanie (bo zakłócanie – niestety – staje się coraz powszechniejszą praktyką).

Mniej spektakularne, choć nie mniej istotne zmiany dokonują się w naziemnych centrach kontroli poszczególnych systemów. Dzięki ich modernizacji większe awarie tego segmentu są wielką rzadkością, a nawet jeśli się zdarzają, trwają bardzo krótko. Biorąc pod uwagę niezwykle skomplikowanie systemów GNSS oraz nasze uzależnienie od nich, to bardzo ważne osiągnięcie.

Przyjrzyjmy się w szczególności zmianom, jakie wprowadzone zostaną wkrót-

Mapy liczby widocznych satelitów powyżej 5 stopni nad horyzontem dla konstelacji (od góry): GPS, GLONASS i BeiDou



Źródło: Administracja systemu BDS



Fot. ESA

Porównanie pomiarów Galileo (od lewej): jednoczęstłotliwościowych (na kanale E1), dwuczęstłotliwościowych (E1 i E5) oraz dwuczęstłotliwościowych wspieranych korektami PPP

ce w najważniejszych rozwiązaniach nawigacyjnych.

● GPS: pewnym krokiem w kierunku III generacji

Bez wątplenia największą stabilność funkcjonowania gwarantuje amerykański GPS. Nic dziwnego – jego administratorzy mają już 4 dekady doświadczeń w zapewnianiu wysokiej jakości rozwiązań nawigacyjnych. W ostatnich latach spokój użytkowników tego systemu zmąciła jedynie „week rollover”, choć podkreślmy, że było to wydarzenie planowane. Pod hasłem tym kryje się odbywające się co 19,7 roku zerowanie liczenia tygodni w depeszach nawigacyjnych, które może zakłócać działanie starszych odbiorników GPS – szczególnie w zakresie wyznaczania czasu. Na szczęście mimo kasandrycznych przepowiedni o drugiej „pluskwie milenijnej” obyło się bez większych incydentów, choć media donosiły na przykład o przestawionych datach w niektórych samolotach.

Czy w takim razie administratorzy GPS nie mają żadnych trosk? Nic z tego! Tych w ostatnich latach było bez liku. Największego bólu głowy przysparzał projekt budowy segmentu kontrolnego nowej generacji oznaczonego skrótem OCX. Kosztem 1,5 mld dolarów firma Raytheon miała go przygotować do 2015 roku. Cena systemu wzrosła jednak do 5,5 mld dolarów, a termin oddania do użytku przesunięto na rok 2022. Jesienią 2019 r. Raytheon ogłosił wreszcie osiągnięcie ważnego „kamienia milowego”, tj. opracowanie hardware’u oraz software’u dla OCX. Pozwoliło to przejść do kolejnej fazy projektu, tj. testowania i integracji wypracowanych rozwiązań. W ocenie spółki system powinien ruszyć w czerwcu 2021 roku, a więc zgodnie ze zmodyfikowanym harmonogramem.

Czy modernizacja segmentu naziemnego to jakiś problem dla użytkowni-

ków końcowych? – zapyta ktoś. Owszem! Wdrożenie OCX jest niezbędne do korzystania z nowych możliwości III generacji satelitów GPS. Ich najważniejszą zaletą jest nadawanie wiadomości nawigacyjnych na nowym cywilnym kanale L1C, który ma zapewnić lepszy odbiór sygnału w miastach czy w innych wymagających obszarach oraz lepszą interoperacyjność z Galileo. Co ciekawe, L1C rozwiąże też problem „week rollover”.

„Szczęśliwie” opóźniony OCX nie stanowi na razie większego problemu, bo sporych opóźnień nabrała także budowa wspomnianych nowych satelitów. Pierwszy miał wystartować w 2014 r., ale w kosmosie znalazł się dopiero w ostatnich dniach 2018 r. (drugi dołączył do niego w sierpniu 2019 r.). I tu prace wydają się jednak wychodzić na prostą. Satelita nr 1 od stycznia br. nadaje wiadomości nawigacyjne. „Dwójka” jest w trakcie testów i na razie przechodzi je bez większych problemów. „Trójka” jest gotowa do startu, który ma się odbyć na początku 2020 roku, podobnie „czwórka”, tyle że w tym przypadku nie wyznaczono jeszcze daty wyniesienia. Aparaty nr 5 i 6 są gotowe i przechodzą testy naziemne. Z kolei te z numerami od 7 do 9 są w trakcie produkcji.

Jeśli harmonogram wystrzeliwania satelitów III generacji nie ulegnie zmianom, globalna dostępność sygnału L1C zostanie osiągnięta pod koniec lat 20. Kolejne starty będą także zwiększać dostępność dwóch innych sygnałów cywilnych – L2C i L5. Pełna dostępność na całym świecie L2C ma zostać osiągnięta już w przyszłym roku, a L5 – w 2024 r. Dodajmy, że generację tę wyróżnia również żywotność satelitów wydłużona do 15 lat.

Administratorzy GPS nie zamierzają jednak spoczywać na laurach i już planują kolejną generację konstelacji – wstępnie oznaczono ją symbolem IIIIF. Umowę o wartości 1,4 mld dolarów na jej zaprojektowanie, przetestowanie i wy-

strzelenie podpisano pod koniec 2018 r. z firmą Lockheed Martin. Na razie nie są znane szczegóły nowych rozwiązań, ale z ogólnikowych informacji wynika, że ma je charakteryzować m.in. selektywne zwiększanie mocy nadawanego sygnału. Może się to okazać przydatne chociażby w przypadku wrogiego zakłócania GPS np. w ramach działań militarnych. Docelowo Lockheed wybuduje 22 takie aparaty, z których pierwszy ma trafić w kosmos w 2026 roku.

● GLONASS: na wschodzie bez zmian

Administratorzy rosyjskiego systemu nawigacji na razie skupiają się na utrzymaniu przy życiu kompletnej konstelacji satelitów generacji M. Biorąc pod uwagę, że reprezentują one poziom technologiczny z końca XX wieku, można już zacząć mówić o ich zacofaniu. Zdają się to potwierdzać ciekawe badania indyjskiego Uniwersytetu w Burdwan zaprezentowane podczas zeszłorocznych warsztatów nawigacyjnych Biura ONZ ds. Przestrzeni Kosmicznej (UNOSAA). Wynika z nich, że wyznaczanie pozycji tylko z wykorzystaniem sygnałów GLONASS jest sporadycznie niemożliwe lub utrudnione.

Oczywiście Rosjanie są świadomi tego problemu, dlatego już od ponad dekady planują budowę konstelacji nowej generacji (oznaczonej literą K). Jak na ironię, źródłem problemów w tym projekcie okazała się ta sama osoba, która stoi za sukcesem systemu – Władimir Putin. Przypomnijmy, że po objęciu władzy na Kremlu za punkt honoru przyjął on przywrócenie globalnej dostępności GLONASS, co udało się osiągnąć w roku 2011. W kolejnych latach wprowadzano zaś różne regulacje, które wymuszały stosowanie tego systemu w różnych dziedzinach. Później przyszła jednak inwazja na Krym i związane z nią sankcje gospodarcze, które odcięły rosyjskie zakłady produkujące satelity od innowacyjnych komponentów wytwa-



Fot. ESA

Jedno z centrów dowodzenia Galileo. To właśnie tu miało dojść do usterki, która na kilka dni sparaliżowała system

rzanych jedynie na Zachodzie. Rozwiązanie tego problemu zajęło ładnych parę lat. Z najnowszych zapowiedzi wynika, że w 2020 roku zakończone zostanie wystrzeliwanie aparatów GLONASS-M, a na orbitę wreszcie zaczną trafiać satelity nowego bloku K2. Wyróżnia je będzie m.in. nadawanie sygnałów nawigacyjnych na trzecim kanale (oznaczonym jako L3), wyższa dokładność pomiaru z użyciem podstawowego kanału L1 oraz wykorzystanie technologii wielodostępu CDMA (a więc tej samej co w systemach GPS, Galileo i BeiDou). Modernizacja konstelacji ma się zakończyć około roku 2030.

• Galileo uczy się na błędach

Data 11 lipca 2019 r. bardzo źle zapisała się w historii europejskiego systemu nawigacji satelitarnej. To właśnie tego dnia rozpoczęła się globalna awaria Galileo, która sparaliżowała jego działanie na 6 dni. Przyczyną okazała się usterka sprzętu w segmencie naziemnym. Oczywiście systemy GNSS są projektowane tak, by w pogotowiu czekały rozwiązania rezerwowe. Pomyślano o nich również w architekturze Galileo, niestety, i one zawiodły w chwili próby. Administratorzy uspokajają: system jest wciąż w fazie rozruchu, dlatego tego typu sytuacje mogą się zdarzać. Nie brak jednak ekspertów, którzy są przeciwnego zdania. Podkreślają oni, że w czasach, gdy zarówno wiele gałęzi gospodarki, jak i różnego rodzaju służby ratunkowe i porządkowe są uzależnione od poprawnych wskazań systemów GNSS, tego ty-

pu usterki są po prostu niedopuszczalne. W dyskusji pojawiły się nawet głosy, że błędem była decyzja, by Galileo był systemem całkowicie cywilnym. Nadzór wojskowy (jaki jest w innych rozwiązaniach GNSS) raczej nie dopuściłby do takiej sytuacji.

W ocenie anonimowego informatora portalu Inside GNSS usterka powinna dać dużo do myślenia administratorom Galileo. Nie zdają sobie oni bowiem sprawy z tego, jak krytyczne usługi oferuje ten system. „Kiedy świadczysz tego rodzaju usługi, powinieneś w pierwszej kolejności za wszelką cenę gwarantować ich dostępność i ciągłość, a dopiero w drugiej kolejności skupiać się na wydajności. Dziś takie podejście jednak nie obowiązuje” – stwierdza źródło portalu.

Parafrazując klasyka: niech te minusy nie przesłonią nam plusów. Poza opisanym incydentem Galileo ma się całkiem nieźle. System składa się z 22 sprawnych satelitów, a w tym roku dołączą do nich cztery kolejne, co pozwoli ogłosić pełną operacyjność na całym świecie. Optymizmem napawają także analizy dokładności systemu. Z badań przeprowadzonych przez naukowców z Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu (o których pisaliśmy w GEODECIE 9/2019) wynika, że pod względem precyzji Galileo zdetronizował nawet dotychczasowego lidera, czyli GPS! Z kolei testy administratora systemu (agencji GSA) udowodniły, że na poziomie prawdopodobieństwa 95% system zapewnia dokładność pomiaru rzędu 1,84 metra.

Dokładność sygnału w przestrzeni kosmicznej (czyli bez uwzględnienia wpływu atmosfery) wynosi natomiast 0,25 metra. Te i inne wartości z nawiązką spełniają wymagania określone w specyfikacji systemu.

A to dopiero rozgrzewka, bo do startu szykowana jest usługa precyzyjna Galileo (zwana także komercyjną) – będzie to pierwsze takie rozwiązanie w systemach GNSS. Na kanale E6B będzie ona dostarczała użytkownikom kompatybilnych dwuczęstotliwościowych odbiorników korekty PPP (*Precise Point Positioning*), które umożliwią wyznaczanie pozycji z dokładnością 20 cm sytuacyjnie i 40 cm wysokościowo. Uruchomienie serwisu zaplanowano na przełom roku 2020 i 2021. Co ważne, będzie on bezpłatny! Cieszy także plan

wdrożenia dla obszaru Europy udoskonalonej wersji tej usługi, która ma zapewnić m.in. krótszy czas konwergencji (czyli inicjalizacji precyzyjnego pomiaru). Przy zakupie geodezyjnego lub GIS-owego odbiornika GNSS już dziś warto więc pytać, czy będzie on śledził sygnał E6B.

Ważną częścią europejskiego systemu nawigacji ma stać się także EGNOS – już obecnie standardowo śledzony nawet przez sprzęt amatorski. Na razie nadaje on satelitarne korekty tylko dla sygnału GPS L1, ale po modernizacji do wersji 3.0 rozwiązanie obejmie także Galileo, i to na dwóch częstotliwościach (E1 i E5). Ze względu na popularyzację dwuczęstotliwościowych czipów odbiorczych w elektronice użytkowej otworzy to szerokiemu gronu użytkowników możliwość pomiaru z dokładnością nawet submetrową. Uruchomienie EGNOS w wersji 3 zaplanowano na rok 2024, przy czym wsparcie dla Galileo zostanie udostępnione rok później.

Co po ogłoszeniu pełnej operacyjności? W zakładach niemieckiej firmy OHB Systems powstaje partia 12 kolejnych satelitów nawigacyjnych, z których pierwsze gotowe będą jeszcze w tym roku. W przewidywalnej przyszłości raczej nie ma więc obaw o utratę globalnej dostępności sygnałów Galileo. Równocześnie trwają prace koncepcyjne nad drugą generacją aparatów (tzw. G2G – *Galileo Second Generation*). Ich szczegóły techniczne nie są znane. Wiadomo, że modernizacja ma objąć nie tylko satelity, ale także segment kontrolny oraz zapewnić

jeszcze wyższą wiarygodność, dostępność i dokładność pozycjonowania. Starty pierwszych aparatów G2G wstępnie wyznaczono na połowę lat 20.

• BeiDou urósł jak na drożdżach

Drugim systemem GNSS, który osiągnie pełną operacyjność w tym roku, jest chiński BeiDou, a konkretnie jego trzecia generacja oznaczona symbolem BDS-3. Trzeba przyznać, że jej budowa postępuje w imponującym tempie – tylko w 2019 roku udało się wystrzelić aż 10 satelitów nawigacyjnych! W przestrzeni kosmicznej znajdują się już wszystkie 24 aparaty na orbitach średnich (MEO), czyli te, które są ważne dla użytkowników w Polsce. Do kompletu brakuje jeszcze dwóch satelitów geostacjonarnych (GEO), które powinny znaleźć się w kosmosie w połowie tego roku. Razem z orbitującym już aparatem GEO oraz dwoma na orbicie geosynchronicznej (IGSO) zapewnią one zwiększoną dostępność sygnałów nawigacyjnych w Azji Południowo-Wschodniej. Dla użytkowników w Polsce pożytek z satelitów GEO i IGSO będzie zatem niewielki.

Przypomnijmy, że w porównaniu ze starszą generacją BDS-3 ma zapewnić m.in. wyższą dokładność wyznaczania pozycji. Dokładność sygnału w kosmosie powinna być nie gorsza niż pół metra, z kolei dla przeciętnego użytkownika wyniesie od 2,5 do 5 metrów. Poza tym ma ją cechować lepsza kompatybilność podstawowego cywilnego sygnału B1 z odpowiednikami w systemach GPS i Galileo (odpowiednio L1C i E1) oraz oferowanie usługi poszukiwawczo-ratowniczej. Co ważne, Chińczycy przymierzają się do udostępnienia usługi wysokiej dokładności (podobnej jak w Galileo). Na razie nie są znane ani jej szczegóły techniczne, ani zasady dostępu. Wiadomo natomiast, że korekty będą nadawane tylko przez satelity GEO (na kanale B2b), usługa będzie zatem dostępna jedynie w Chinach oraz na terenach sąsiednich.

• Regionalne innowacje

Nawigacja satelitarna to jednak nie tylko systemy globalne, ale także regionalne, w tym rozwiązania wspomagające typu SBAS (np. wspomniany wcześniej europejski EGNOS). Mniej lub bardziej zaawansowane prace nad ich budową lub modernizacją toczą się głównie w Azji (np. w Indiach, Korei, Australii, Japonii), dla polskiego użytkownika mają one zatem niewielkie znaczenie. Z czystej ciekawości warto przyjrzeć się bliżej japońskiemu systemowi QZSS. Stanowi on nie tylko regionalne uzupełnienie GPS, ale także źródło dwóch strumieni korekt PPP. Pierwszy – oznaczony

skrótom QZSS-PPP – bazuje na globalnej sieci stacji naziemnych i jest dostępny wszędzie tam, gdzie sięga sygnał satelitarny tej konstelacji (Azja i Oceania). Drugi strumień to PPP-RTK – bazuje on na gęstej sieci stacji naziemnych i jest dostępny tylko w Japonii.

Podczas zeszłorocznej konferencji UNOSAA przedstawiciele tego systemu zaprezentowali wyniki dokładności obu strumieni, które – nie ma co ukrywać – robią wrażenie. Pomiary wykonane w Japonii przy użyciu QZSS-PPP cechowały się błędem RMS nieprzekraczającym 5 cm, z kolei poza granicami tego kraju wartości te w zasadzie nie przekraczały 20 cm. Czas konwergencji wynosił natomiast 20-30 minut. Jeszcze ciekawiej prezentują się wyniki dla PPP-RTK. W tym przypadku dokładność pomiaru sięgnęła 5,3 cm sytuacyjnie i 10,7 cm wysokościowo – podkreślimy jednak, że mowa tu o prawdopodobieństwie 95%. Imponujący jest też krótki czas inicjalizacji precyzyjnego pomiaru – w 95% przypadków nie przekroczył on 38 sekund. Trzeba przyznać, że jeśli podobne możliwości zaoferuje również Galileo, z pewnością odmieni to codzienność pomiarów satelitarnych oraz rynek rozwiązań GNSS w Polsce.

Skoro o krajowych inicjatywach mowa, nie sposób nie wspomnieć o tym, co się dzieje przy okazji „bxitu”. Przebieg negocjacji Londynu i Brukseli wskazuje, że Wielka Brytania nie tylko zostanie odcięta od intratnych kontraktów związanych z rozwojem Galileo, ale także nie będzie mogła korzystać z usługi regulowanej publicznie, która uprawnionym służbom zapewnia bezpieczniejszy i wiarygodniejszy pomiar. W ferworze negocjacji Brytyjczycy stwierdzili, że sami zbudują własny system nawigacji – i to nie regionalny, ale globalny! Początkowo mogło wydawać się, że to tylko błąd, jednak rząd nad Tamizą wyasygnował już sporą sumę

na opracowanie stosownej analizy wykonalności. Jeśli Wielka Brytania faktycznie zdecyduje się na własny system GNSS, czeka ją wydatek rządu nawet 5 mld funtów. No, ale kto bogatemu zabroni...

• Kiedy skończy się sielanka?

Ostatnie dwie dekady rozwoju GNSS przyniosły nie tylko ogromny postęp technologiczny, ale także upowszechnienie się tych rozwiązań. Szacuje się, że dziś na całym świecie działa 6,4 mld odbiorników satelitarnych, z czego zdecydowana większość to sprzęt wielosystemowy. Czy ten galopujący postęp będzie trwał wiecznie? Emocje studzi nieco najnowsze wydanie „GNSS Market Report” – wartościowego raportu przygotowanego przez GSA. Dowiemy się z niego, że na świecie pojawia się sporo nowych trendów, które będą zwiększały zapotrzebowanie na konsumenckie rozwiązania GNSS. To już nie tylko big data, internet rzeczy, smart cities, pojazdy autonomiczne czy ekonomia współdzielenia, ale także walka z ociepleniem klimatu, która będzie wymagała przygotowania nowych rozwiązań dla rolnictwa czy transportu. W efekcie tych i innych zmian za 10 lat liczba odbiorników ma osiągnąć blisko 10 mld.

Nieco inaczej sytuacja wygląda na rynku rozwiązań precyzyjnych. Autorzy raportu prognozują, że w najbliższych kilku latach wciąż będzie on dynamicznie rósł, choć już w połowie lat 20. zacznie się stabilizować. O ile liczba zainstalowanych odbiorników będzie się nadal zwiększała (choć już znacznie wolniej), o tyle wartość sprzedaży produktów i usług zacznie maleć.

Nie oznacza to jednak wolniejszego postępu technologicznego. Na popularności ma zyskiwać m.in. wykorzystanie satelitarnych korekt PPP. Przyczyni się do tego szczególnie uruchomienie usługi komercyjnej Galileo – czytamy w raporcie. Rozwój pojazdów autonomicznych sprawi ponadto, że coraz powszechniejsze stawać się będą różnego rodzaju mobilne systemy kartowania. Dzięki nim zbieranie danych przestrzennych ma stać się szybsze, bardziej zautomatyzowane i tańsze. Zmieniać będzie się także model korzystania z precyzyjnych rozwiązań GNSS. Zamiast kupować kompletną platformę użytkownicy będą coraz częściej sięgać po produkty typu X-as-a-Service, a więc np. bazujące na subskrypcjach.

Przyszłość technologii nawigacyjnych wygląda zatem wciąż bardzo interesująco. W najbliższych latach nie będzie nam więc brakowało ciekawych tematów do kolejnych edycji naszego rocznego przeglądu GNSS.

Jerzy Królikowski



Foto: YouTube

Niespodziewanym wydarzeniem podczas jednego z niedawnych startów satelity GLO-NASS-M było uderzenie pioruna w rakiety Sojuz. Ani satelicie, ani rakiemie nic się nie stało