

ROSNĄCA ROLA NAWIGACJI SATELITARNEJ. TAK NA ZIEMI, JAK I W KOSMOSIE [ANALIZA]

Satelitarne systemy globalnego pozycjonowania (GNSS) mają coraz większe znaczenie nie tylko dla gospodarki, ale i dla codziennego życia mieszkańca ziemskiego globu. Spełniają one szereg funkcji związanych z transportem czy precyzyjną orientacją w terenie, ale zapewniają też w skali globalnej funkcjonowanie perfekcyjnie zsynchronizowanego systemu pomiaru czasu. W ostatnim czasie nawigacja satelitarna znajduje też coraz częściej zastosowanie w odniesieniu do samych satelitów, których znajomość dokładnego położenia w przestrzeni kosmicznej jest niezwykle istotna dla serwisów, które oferują.

Akronim GNSS oznacza *Global Navigation Satellite System*. Wbrew temu, co mogłoby wynikać z prostego tłumaczenia tego wyrażenia z języka angielskiego, globalne systemy nawigacji satelitarnej nie realizują zadań związanych bezpośrednio z nawigacją. Przykładowo, rolą ich nie jest wyznaczanie trasy, czy podawanie wskazówek w kwestii jak dojechać, dolecieć, czy dopłynąć do konkretnego miejsca na powierzchni Ziemi, a jedynie są w stanie określić położenie odbiornika w określonym układzie współrzędnych w konkretnym czasie.

Rynek związany z usługami w tym zakresie nieustannie rośnie. Według *GNSS Market Report* z 2017 r. (wydanego przez GSA) wartość tego rynku dla samej tylko Unii Europejskiej wzrosła z 21,9 mld euro w 2015 r. do 59,4 mld euro w roku 2025. Wedle wspomnianego raportu w 2020 r. na całym świecie będzie już użytkowanych niemal 8 mld urządzeń wyposażonych w odbiorniki sygnału nawigacji satelitarnej, co w skali globu oznacza średnio jedno urządzenie na jednego człowieka. Znakomitą większością tych urządzeń stanowią będą smartfony, w których dziś znajduje się blisko 80% wykorzystywanych odbiorników sygnału GNSS.

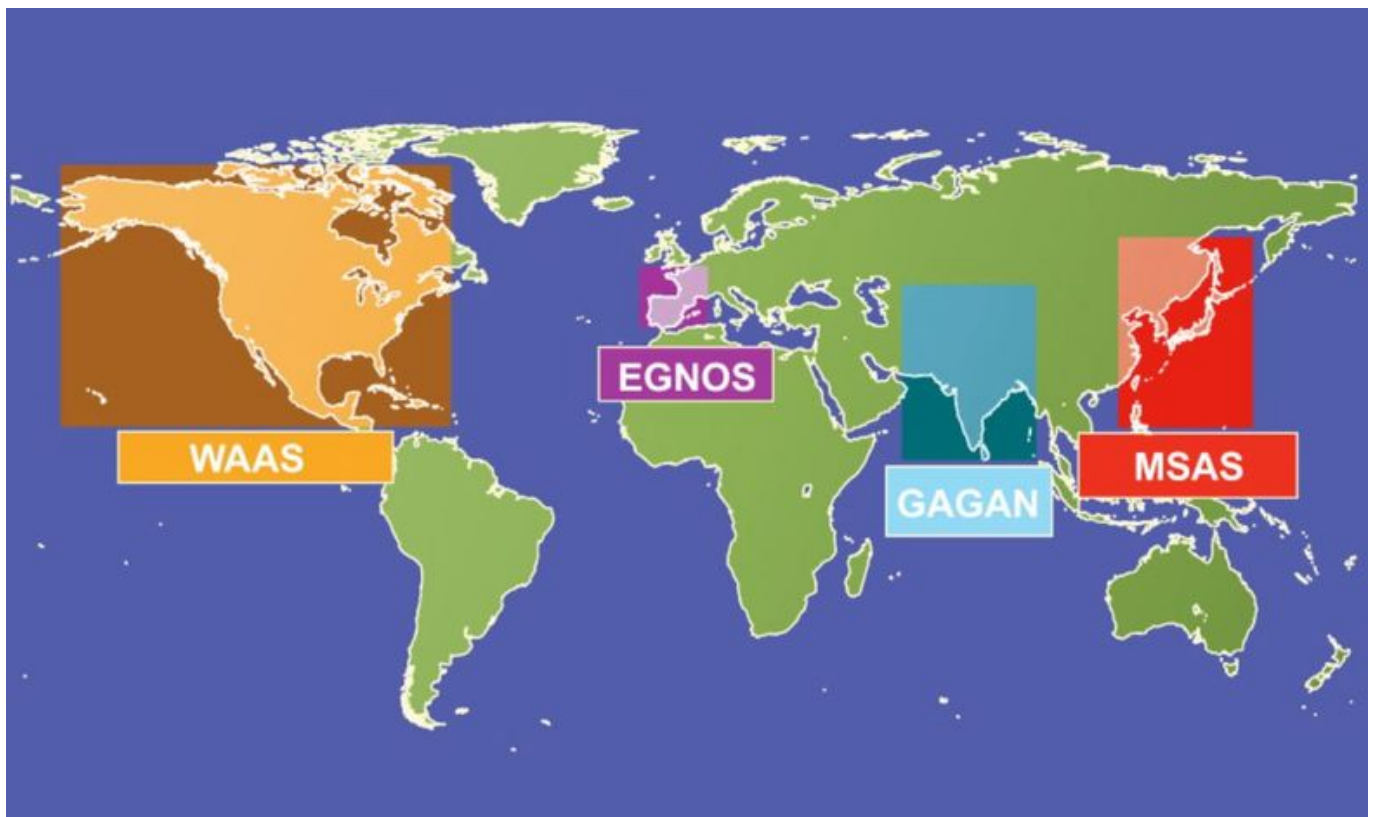
Pośród konstelacji GNSS można wskazać cztery obejmujące swoim zasięgiem całą kulę ziemską. Są to amerykański GPS, rosyjski GLONASS, europejski Galileo i chiński BeiDou. Dwa pierwsze są już w pełni operacyjne, zaś dwa pozostałe są w dalszym ciągu wdrażane i mają uzyskać pełną sprawność około 2020 r.

Oprócz wyżej wymienionych konstelacji globalnych, działają też, regionalne satelitarne systemy wspomagające (ang. *SBAS – Satellite Based Augmentation System*). Tego rodzaju serwisy służą korygowaniu, zwiększaniu dokładności oraz wiarygodności informacji dotyczących pozycjonowania, uzyskiwanych z satelitów globalnych systemów GNSS. Przykładem SBAS jest europejski EGNOS, czy amerykański WAAS.

Istniejące systemy globalne takie jak GPS i GLONASS nie zapewniają

informacji w czasie rzeczywistym o wiarygodności sygnałów, chwilowej dokładności uzyskiwanej pozycji ani o prawidłowym funkcjonowaniu tych systemów. A jest to krytyczna informacja np. dla samolotu podchodzącego do lądowania na podstawie wskazań odbiornika GNSS. Wobec tego, zbudowano satelitarne systemy wspomagające, które właśnie dostarczają użytkownikowi takie informacje w czasie rzeczywistym, a przy okazji transmitujące poprawki umożliwiające podniesienie dokładności pozycji wyznaczanej przez odbiornik nawigacyjny.

prof. Paweł Wielgosz, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie



Pokrycie systemów SBAS. Ilustracja: ESA

Wykorzystanie GNSS na Ziemi i w powietrzu

Szerokim i dobrze zakorzenionym w świadomości użytkowników aspektem wykorzystania pozycjonowania satelitarne jest logistyka. Chodzi tu o lokalizowanie pojazdów, nadzór nad ich flotą, racjonalne zarządzanie parkiem maszynowym pojedynczego podmiotu czy szerzej, ruchem na danej przestrzeni przez uprawnione do tego organy. O tego rodzaju działaniach możemy mówić w przypadku ruchu samochodowego, kolejowego, morskiego, a także żeglugi powietrznej.

Systemy GNSS sprawdzają się także jako środek poprawy efektywności upraw rolnych i są w tym celu w szczególności wykorzystywane w tzw. rolnictwie precyzyjnym, choćby do automatycznego sterowania maszynami rolniczymi. Badanie i mapowanie z pomocą nawigacji satelitarnej może natomiast dotyczyć usług geodezyjnych, budownictwa - na przykład drogowego, czy działalności górniczej.

Niezwykle pojemnym segmentem możliwości oferowanych przez systemy GNSS są usługi oparte na lokalizacji (*Location Based Services - LBS*). Możemy do nich przykładowo zaliczyć spersonalizowane oferty marketingowe, kierowane do użytkownika smartfona, których przygotowanie bazuje na wiedzy zarówno o osobistych preferencjach danego konsumenta (choćby w kwestii wyboru restauracji z kuchnią konkretnego kraju), jak i o położeniu geograficznym tegoż konsumenta w momencie składania oferty. Do LBS zalicza się także faktyczna nawigacja – czyli zaproponowanie przez aplikację trasy do wyznaczonego miejsca i podawanie wskazówek, żeby do tego celu dotrzeć.

Systemy nawigacji satelitarnej są wreszcie doskonałym narzędziem dla precyzyjnego pomiaru czasu i synchronizacji zegarów naziemnych. Ta cecha użytkowa systemu przydaje się na przykład w obsłudze transakcji bankowych. Transfer czasu z GNSS przydaje się też spółkom energetycznym, które mogą dzięki niemu monitorować przepływ energii w swoich sieciach przesyłowych.

Sygnaly od satelitów nawigacyjnych można też wykorzystywać [do mierzenia zmian w polu magnetycznym wokół Ziemi, powodowanych przez burze w jonosferze](#). Badania nad wpływem burz jonosferycznych zwiększają naszą wiedzę o dynamice jonosfery, związanej z aktywnością Słońca. Pozwolą również w przyszłości ulepszyć odbiorniki sygnału GPS, umieszczane na urządzeniach wysyłanych w przestrzeń kosmiczną, tak, żeby były one w mniejszym stopniu narażone na utratę pozycjonującego sygnału.

Wykorzystanie pozycjonowania satelitarnego w misjach kosmicznych

Odbiorniki sygnału GNSS od lat umieszcza się na obiektach wysyłanych w przestrzeń kosmiczną. Wyposażenie w taki instrument rakiety nośnej pozwala ją śledzić i przekonać się czy podąża ona po właściwej trajektorii by dostarczyć transportowanego satelitę na docelową orbitę. W tego typu odbiorniki wyposaża się wreszcie same satelity, ażeby móc je śledzić i z dużą dokładnością potwierdzać ich pozycję w określonym momencie.

Podstawowe zastosowanie kosmicznych odbiorników GNSS na pokładach satelitów to precyzyjne wyznaczanie parametrów orbit (pozycji) tych satelitów. Jest to niezbędne do prawidłowego funkcjonowania większości misji satelitarnych, jak na przykład misje SAR czy też altymetryczne. Dodatkowym zastosowaniem odbiorników GNSS umieszczonych na satelitach jest prowadzenie pomiarów okultacyjnych, które służą badaniom pogody kosmicznej oraz temperatury naszej atmosfery.

prof. Paweł Wielgosz, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

Dość oczywistym jest fakt, że sygnał wysyłany przez konstelacje satelitów nawigacyjnych, które orbitują na średniej orbicie okołoziemskiej (MEO), na wysokościach około 20 tys. km, może być wykorzystywany do pozycjonowania urządzeń krążących na niskiej orbicie okołoziemskiej (LEO).

Dzisiejsza zaawansowana technologia pozwala jednak też wykorzystywać sieci GNSS do określania lokalizacji satelitów znajdujących się o wiele wyżej niż MEO, na przykład na orbicie geostacjonarnej (GEO), tj. 35 786 km nad Ziemią. Jest to o tyle skomplikowane, że satelity nawigacyjne emitują swój

sygnał kierunkowo – w stronę powierzchni ziemskiego globu. Stąd do pozycjonowania satelity obecnego na orbicie GEO nie używa się sygnałów od najbliższych mu urządzeń GNSS na średniej orbicie okołoziemskiej, gdyż one „nie patrzą” na niego, lecz w stronę planety. Stąd, dla określenia swojej pozycji satelita na orbicie geostacjonarnej musi wychwycić niezwykle słabe sygnały od satelitów nawigacyjnych znajdujących się w danym momencie po przeciwnej stronie kuli ziemskiej niż on sam, czyli na dystansach rzędu 50 tys. km!

Typowy odbiornik GNSS do zastosowań kosmicznych ma wymiary około 30 x 30 x 15 cm i waży ok. 6 kg. Jest więc istotnie większy od chipa, który tę samą funkcję spełnia w smartfonie. Odbiornik taki jest urządzeniem elektronicznym o wysokim stopniu skomplikowania, a ponadto musi cechować się dużą odpornością – nie tylko na pracę w surowych warunkach przestrzeni kosmicznej, ale także na przyspieszenie, a przede wszystkim wstrząsy, podczas startu na pokładzie rakiety nośnej. Takie odbiorniki użytkowane na orbicie poruszają się też z dużo większymi prędkościami (3-8 km/s) niż ich odpowiedniki w warunkach ziemskich.

Odbiorniki sygnału nawigacji satelitarnej muszą ponadto spełniać surowe wymagania w dziedzinie niezawodności. To typowy warunek, stawiany aparaturze wysyłanej w przestrzeń kosmiczną, gdzie, poza nielicznymi wyjątkami, nie ma możliwości jej naprawienia. Stąd odbiornik taki dubluje się na pokładzie satelity (jak znaczącą większość wszystkich urządzeń), by zapewnić, że w razie awarii jednego instrumentu, jego funkcję będzie mógł przejąć drugi. Ogromną wagę przywiązuje się także do rygorystycznych testów, jakie podzespoły do odbioru sygnału GNSS muszą przejść na Ziemi, jeszcze przed wysłaniem w kosmos.

Testowanie odbiorników kosmicznych jako ważna nisza rynkowa

W 2014 r. możliwością prowadzenia działalności polegającej na naziemnym testowaniu odbiorników sygnału GNSS, przeznaczonych do misji kosmicznych, mocno zainteresowała się firma Astri Polska. Mniej więcej w tym samym czasie niemiecki oddział Airbus Defence and Space wprowadził do produkcji tego typu odbiornik, nazwany *Lion*. Przedstawicielom Astri Polska udało się wówczas doprowadzić do udanego transferu technologii testowania *Liona* z niemieckiego Ottobrunn do Polski. Operacja ta odbyła się za wiedzą i przy aprobacie Europejskiej Agencji Kosmicznej. Projekt ten, realizowany w kraju pod hasłem Flirt-PL, był następnie kontynuowany przez dwa lata w ramach programu ESA Polish Industry Incentive Scheme.

Przenosząc zadania związane ze sprawdzaniem odbiornika *Lion* do Polski Airbus zyskiwał nie tylko szansę na obniżenie kosztów tego działania, ale także zwalniał część swojej wysoko wykwalifikowanej siły roboczej w Niemczech, która mogła zająć się innymi pracami.

Rodzimy przemysł i inżynierowie zyskali natomiast zupełnie nowe kompetencje. Inicjatywa doprowadziła do powstania w Astri Polska oprogramowania do testowania kosmicznego odbiornika GNSS *Lion*. Testowanie takiego instrumentu jest sprawą niełatwą i musi odbywać się w warunkach możliwie zbliżonych do tych, z jakimi spotka się on w rzeczywistej pracy na orbicie. Procedury takie prowadzi się w laboratorium z wykorzystaniem złożonych emulatorów sygnału GNSS, które symulują sygnał GNSS, taki, jaki będzie dostępny w kosmosie, podczas konkretnej misji kosmicznej.

W naszym projekcie Lion był laboratoryjnie sprawdzany podczas odgrywania ściśle zaplanowanego scenariusza, tak, jakby odbiornik znajdował się na prawdziwym satelicie meteorologicznym, realizującym

na niskiej orbicie okołoziemskiej misję MetOp-SG. Dla potrzeb testów przyjęto założenie, że nie tylko konstelacja GPS, ale i Galileo są ukończone i w 100% sprawne. Astri Polska było odpowiedzialne głównie za przygotowanie oprogramowania, które odpowiadało za kontrolę środowiska testowego jak i samego odbiornika Lion oraz zczytywanie wyników pomiarów i ich wstępną analizę. Rezultaty naszych testów przekazywaliśmy do Airbusa.

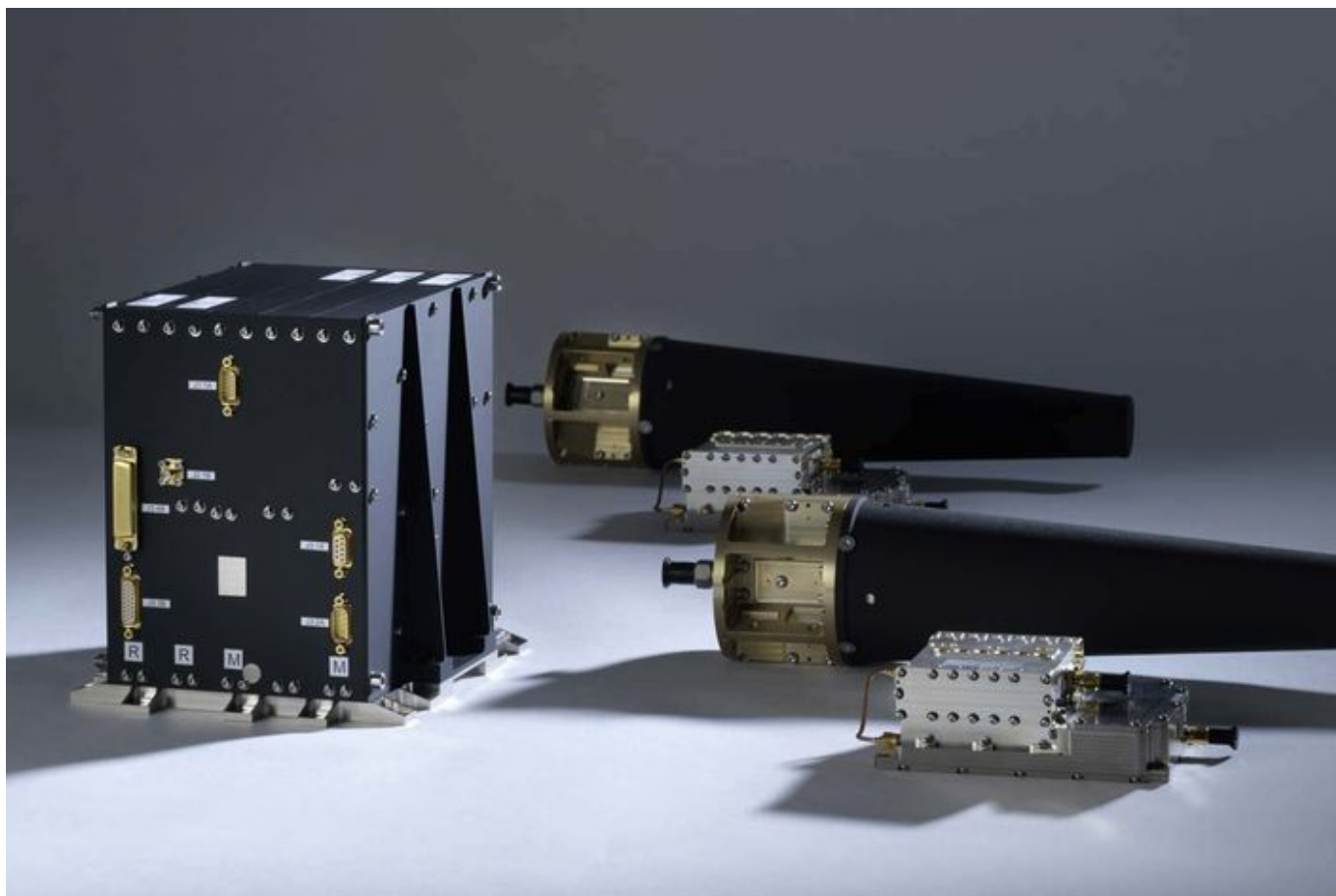
Karol Brzostowski, kierownik Działu Aplikacji i Usług Satelitarnych Astri Polska

Po zakończonym sukcesem projekcie Flirt-PL pracownicy Astri doszli do wniosku, że stworzenie elastycznej platformy do testowania różnych odbiorników kosmicznych sygnału GNSS jest istotną i niezagospodarowaną niszą rynkową. Nie ma bowiem przeszkód, by oprogramowanie stworzone pod kątem testowania odbiornika Airbusa wykorzystywać do badania instrumentów od innych producentów. Specjaliści Astri Polska postanowili pójść w tym kierunku i przekonać do swojego pomysłu innych producentów odbiorników – jak Ruag czy Thales Alenia Space oraz Europejską Agencję Kosmiczną.

Odbiornik sygnałów GNSS działający na powierzchni Ziemi niekoniecznie będzie prawidłowo funkcjonował w kosmosie. Jest to związane ze zdecydowanie wyższym poziomem promieniowania w kosmosie oraz olbrzymimi zmianami temperatury. Odbiorniki przeznaczone do misji satelitarnych muszą przejść odpowiednie testy w specjalnych komorach symulujących warunki kosmiczne. Muszą także wykazywać się odpornością na wstrząsy i przeciążenia występujące przy starcie rakiety nośnej. Ponadto układy takiego odbiornika powinny wykazać się kompatybilnością z innymi układami danego satelity - poszczególne urządzenia nie mogą się wzajemnie zakłócać.

prof. Paweł Wielgosz, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

ESA zaaprobowała koncepcję stworzenia uniwersalnej platformy do testowania kosmicznych odbiorników GNSS w warunkach laboratoryjnych i tak narodził się projekt FLIGH.T. Już teraz Astri tworzy software zdatny do testowania trzech różnych odbiorników, w tym dwóch w pełni kosmicznych: modelu *Lion* Airbusa i *Podrix* firmy Ruag.



Kosmiczny odbiornik sygnału GNSS Lion. Fot. Airbus Defence and Space

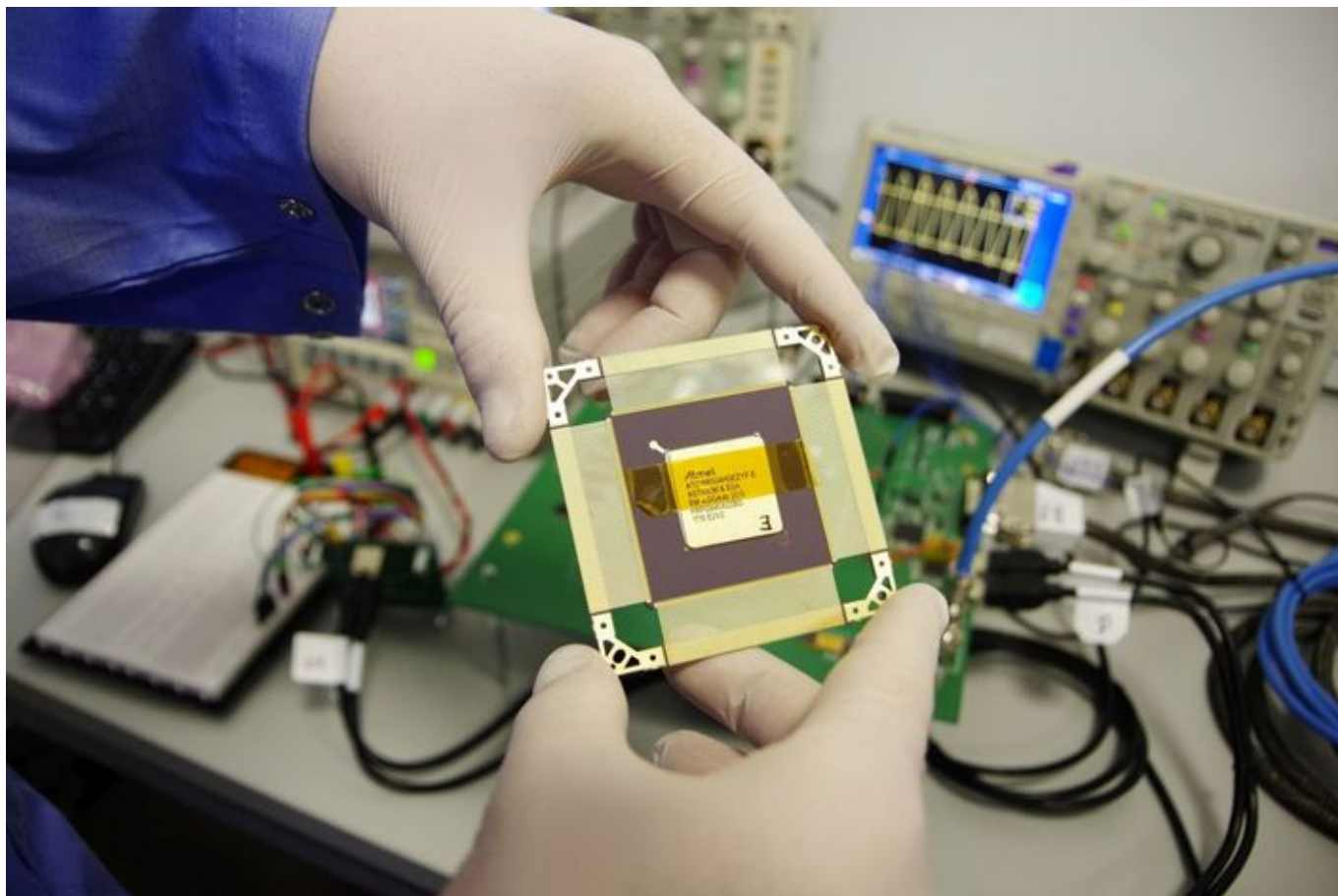
Projekt FLIGHt rozpoczął się we wrześniu 2017 r. i potrwa 15 miesięcy. Finalnie przerodzi się on w pełnowartościowy produkt rynkowy, gotowy do użytku. Pierwsza implementacja stworzonego software'u będzie miała miejsce w laboratorium nawigacyjnym (European Navigation Laboratory) w ESA ESTEC, w holenderskim Noordwijk. Rozwiązanie znajdzie w przyszłości zastosowanie również np. na uczelniach czy też będzie mogło służyć do testowania odbiorników sygnału nawigacji dedykowanych celom militarnym.



Kompleks budynków ESA ESTEC w holenderskim Noordwijk. Fot. ESA/Anneke Le Floc'h

Przy tej okazji należy wspomnieć, że Astri Polska realizuje jeszcze jeden projekt finansowany ze środków Europejskiej Agencji Kosmicznej. Chodzi o [radiacyjne przetestowanie ASICu AGGA-4](#), który m. in. odpowiada za przetwarzanie sygnału GNSS w odbiorniku *Lion*. ASIC (Application Specific Integrated

Circuit) to rodzaj zaawansowanych, elektronicznych układów scalonych, zaprojektowanych do pełnienia z góry założonych funkcji. Zaletą ASICów jest możliwość zastąpienia nimi większych układów scalonych o „ogólnym przeznaczeniu”. Są one mniejsze, lżejsze, cechują się większą niezawodnością i funkcjonalnością oraz są bardziej energooszczędne.



Układ scalony AGGA-4. Fot. Astri Polska

Astri ma za zadanie sprawdzić, jak AGGA-4 będzie funkcjonować na satelicie MetOp-SG. Tym razem chodzi nie tylko o symulację pracy na orbicie, ale również o odwzorowanie panujących tam surowych warunków, gdzie sprzęt elektroniczny narażony jest na promieniowanie kosmiczne.

Testy mają miejsce w warunkach promieniowania kosmicznego. Przeprowadzamy dwie próby: jedną z użyciem ciężkich jonów w UCL w Belgii, i drugą z użyciem protonów w PSI w Szwajcarii.

Karol Brzostowski, kierownik Działu Aplikacji i Usług Satelitarnych Astri Polska

Właściwe przetestowanie i wdrożenie ASICa AGGA-4 jest sprawą pilną i niezwykle istotną dla ESA, ponieważ znajduje on zastosowanie w bardzo licznych misjach kosmicznych Agencji. Docelowo produkt ten ma zostać skomercjalizowany, stąd niezwykle ważne, by uzyskał świadectwo potwierdzające, że jest odporny na działanie promieniowania kosmicznego. AGGA-4 to największy kosmiczny ASIC.

Sprawdzanie możliwości odbiornika do zastosowań hybrydowych

Obok szeregu niewątpliwych zalet, pozycjonowanie w oparciu o nawigację satelitarną ma jedną zasadniczą wadę: nie sprawdza się we wnętrzach budynków, gdzie dachy bądź stropy blokują docieranie sygnału emitowanego przez satelity. Sposobem na rozwiązanie tego problemu jest pozycjonowanie hybrydowe, które obok wykorzystania GNSS posiłkuje się naziemną infrastrukturą sieci telefonii komórkowych.

Pozycjonowanie hybrydowe polega na wyznaczaniu pozycji w oparciu o dwa różne systemy. Jest to system GNSS – klasyczna nawigacja satelitarna, i technologia LTE.

Karol Brzostowski, kierownik Działu Aplikacji i Usług Satelitarnych Astri Polska

Stąd kolejnym programem, jaki Astri Polska realizuje dla ESA, również w ramach Polish Industry Incentive Scheme, jest TECHNO (Test Environment for Hybrid NavigatiOn). Celem projektu jest przygotowanie platformy software'owej, która posłuży do laboratoryjnego testowania rozwiązań hybrydowych GNSS + LTE. Oprócz sterowania urządzeniami w laboratorium powstałe oprogramowanie umożliwi generowanie scenariuszy symulacyjnych.

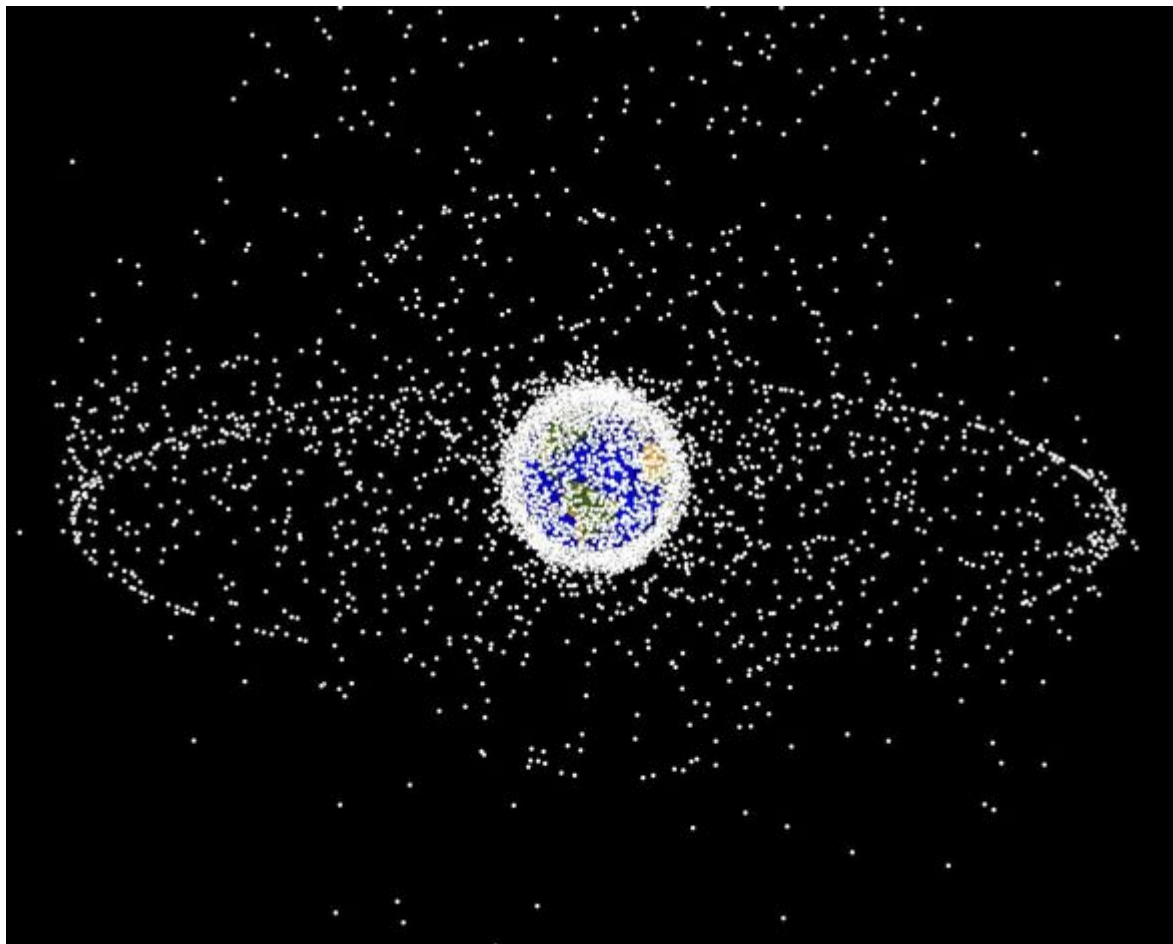
Na realizację tego zadania Astri ma dwa lata. W tym przypadku finalnym efektem przedsięwzięcia nie będzie gotowy produkt rynkowy, lecz demonstrator technologii. Jego pierwsza implementacja ma również mieć miejsce w ośrodku ESTEC Europejskiej Agencji Kosmicznej.

Rosnąca rola GNSS. Ważna promocja i uświadamianie

Dla promocji aplikacji i rozwiązań bazujących na GNSS i związanych z tym możliwości w Europie, z naciskiem na Polskę, duże znaczenie miała realizacja projektu E-Knot. Miał on na celu wzmocnienie interakcji pomiędzy nauką, edukacją i przemysłem w obszarze GNSS w Europie. Program ten, finansowany z programu Horyzont 2020 był realizowany pod auspicjami GSA, czyli europejskiej agencji GNSS, z siedzibą w Pradze. Czas realizacji tego zadania przewidziano na trzy lata, w okresie 2015-2017. Astri Polska uczestniczyła w E-Knot w konsorcjum z licznymi profesjonalnymi podmiotami z całej Europy. Konsorcjanci organizowali m. in. szkolenia, warsztaty, spotkania czy staże. Na koniec zostaną przygotowane rekomendacje dla decydentów w sprawie jak najszerzego wykorzystywania GNSS na Starym Kontynencie w przyszłości.

Nie ulega wątpliwości, że rola pozycjonowania satelitarnego w zastosowaniach naziemnych będzie dalej wzrastać. Zastosowanie GNSS w satelitach będzie także coraz bardziej istotne. Jednym z czynników, które za tym przemawiają jest chociażby nieustający przyrost liczby satelitów w kosmosie, zwłaszcza w obrębie niskiej orbity okołoziemskiej (LEO), jak i geostacjonarnej.

Firmy, takie jak SpaceX czy OneWeb, zapowiadają tworzenie konstelacji liczących setki, a nawet tysiące urządzeń, które z poziomu orbity miałyby zapewnić dostęp do internetu dla całego globu. W takim satelitarnym tłoku bardzo ważne będą informacje o lokalizacji i kierunkach ruchu konkretnych urządzeń, między którymi nie powinno dochodzić do zderzeń. W przeciwnym razie groziłoby nam spotęgowanie ilości kosmicznych śmieci w myśl pesymistycznego scenariusza, nazwanego *syndromem Kesslera*.



Wizualizacja problemu zaśmiecenia popularnych orbit satelitarnych wokół ziemskiego globu. Ilustracja: NASA Orbital Debris Program Office

Czytaj też: [Megakonstelacja satelitów SpaceX groźna dla kosmicznej infrastruktury](#)

Znajomość dokładnych pozycji satelitów badawczych, pełniących najróżniejsze funkcje, jest często niezbędna, by prawidłowo interpretować dane pochodzące z sensorów na pokładach tych urządzeń. Wszystko to jest jednak możliwe pod jednym kluczowym warunkiem – że odbiornik sygnału GNSS działa prawidłowo i niezawodnie.

Póki co, koncepcje i techniki związane z [serwisowaniem satelitów na orbitach](#) są na wczesnym etapie rozwoju i potrzeba czasu, by weszły do powszechnego użytku. To oznacza, że odbiorniki GNSS, które lecą na orbitę, muszą być w pełni sprawne i z góry przetestowane w warunkach ziemskich. Dobrze więc, że istnieją podmioty, które tak jak Astri Polska i Europejska Agencja Kosmiczna widzą pilną potrzebę tworzenia właściwego oprogramowania i infrastruktury laboratoryjnej, dobrze odzwierciedlającej warunki pracy w kosmosie dla celów testowania kosmicznych odbiorników GNSS. Być może jest to jedna z nisz, w której polski przemysł wyspecjalizuje się w ramach członkostwa naszego kraju w ESA?