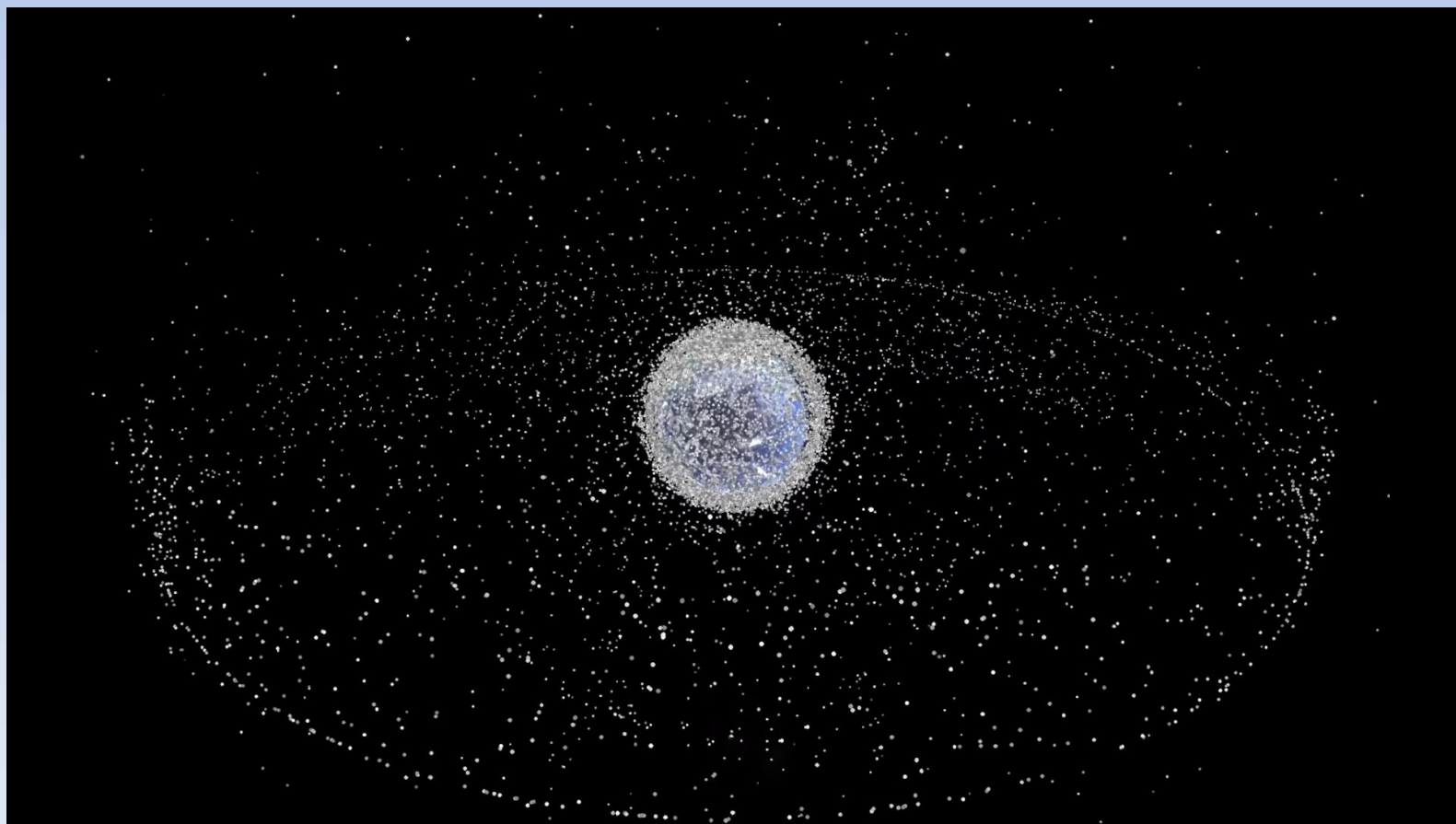


Systemy nawigacji satelitarnej

Krzysztof Kamiński

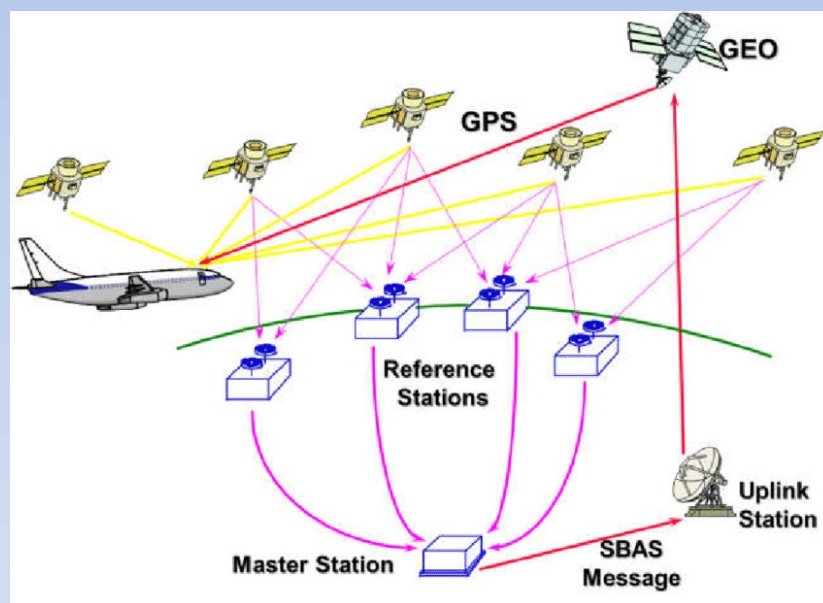
Systemy wspomagające GPS

Satelitarne Systemy Wspomagające (SBAS – Satellite Based Augmentation System) – rozwiązanie transmitujące poprawki dla sygnałów GNSS za pomocą jednego lub kilku satelitów geostacjonarnych (z reguły są to wielofunkcyjne aparaty telekomunikacyjne).



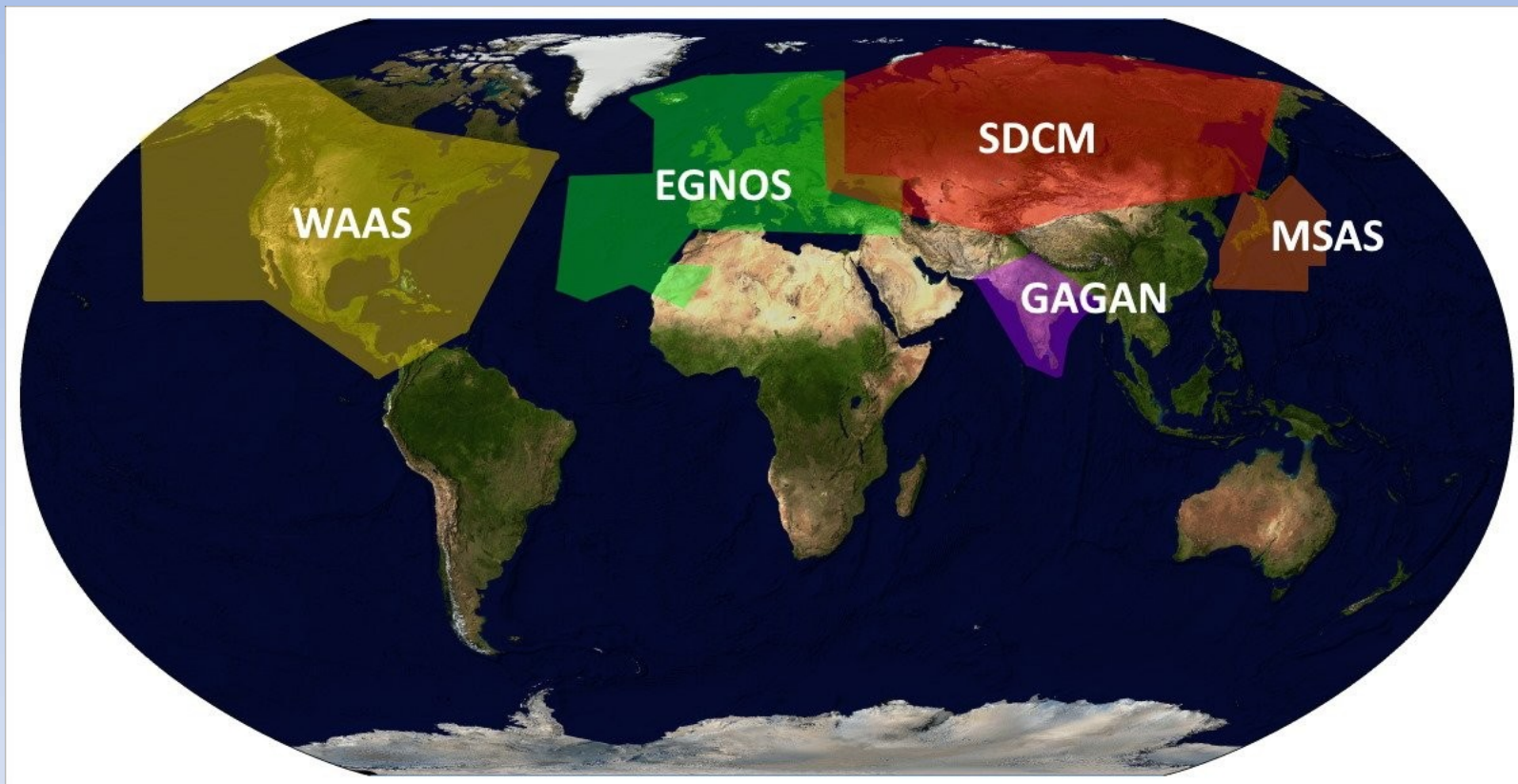
Systemy wspomagające GPS

Korekty obliczane są na podstawie danych z kilkunastu do kilkudziesięciu stacji pomiarowo-obszaryjnych, transmitowane do satelity SBAS, a następnie retransmitowane na Ziemię.



Niektóre rozwiązania SBAS oferują także informacje o wiarygodności systemów nawigacji. Jest to szczególnie przydatne np. w lotnictwie, żegludze czy podczas operacji służb ratunkowych.

Systemy wspomagające GPS



EGNOS



Nazwa: EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

Kraj rozwijający system: Unia Europejska

Aktualna liczba satelitów: 3: Inmarsat 3-F2 (15,5°W), SES-5 (znany także jako Sirius 5 lub Astra 4B – 5.0°E, w trakcie testów), Astra 5B (31,5°E)

Typ orbity: geostacjonarna

Ogłoszenie operacyjności: 2009 r. (dla usługi otwartej),
2011 r. (dla usługi bezpieczeństwa życia)

EGNOS

Program budowy EGNOS został zatwierdzony przez Radę Unii Europejskiej w 1994r.
W ciągu czterech lat opracowano wymagania techniczne dla systemu.

W tym czasie na orbicie umieszczono dwa satelity telekomunikacyjne,
które później wykorzystano do emisji poprawek EGNOS.

W 1996 r. wystartował Inmarsat F2 AOR-E, a dwa lata później Inmarsat F5 IOR-W.

W 2003 roku ukończono prace nad pierwszym elementem segmentu naziemnego
systemu – w niemieckim mieście Langen otwarto pierwszą stację kontrolną
(Master Control Centre – MCC).



EGNOS

EGNOS w wersji 1 ruszył w lipcu 2005 roku.

Rok później udostępniono wersję 2.1, która dawała dostęp w czasie rzeczywistym do poprawek mierzonych na tzw. stacjach RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Station).

W 2008 r. system w wersji 2.2 objął swoim zasięgiem również część Afryki.

Oficjalne ogłoszenie pełnej operacyjności usługi otwartej (Open Service) nastąpiło 1 października 2009 roku.

EGNOS -SoL

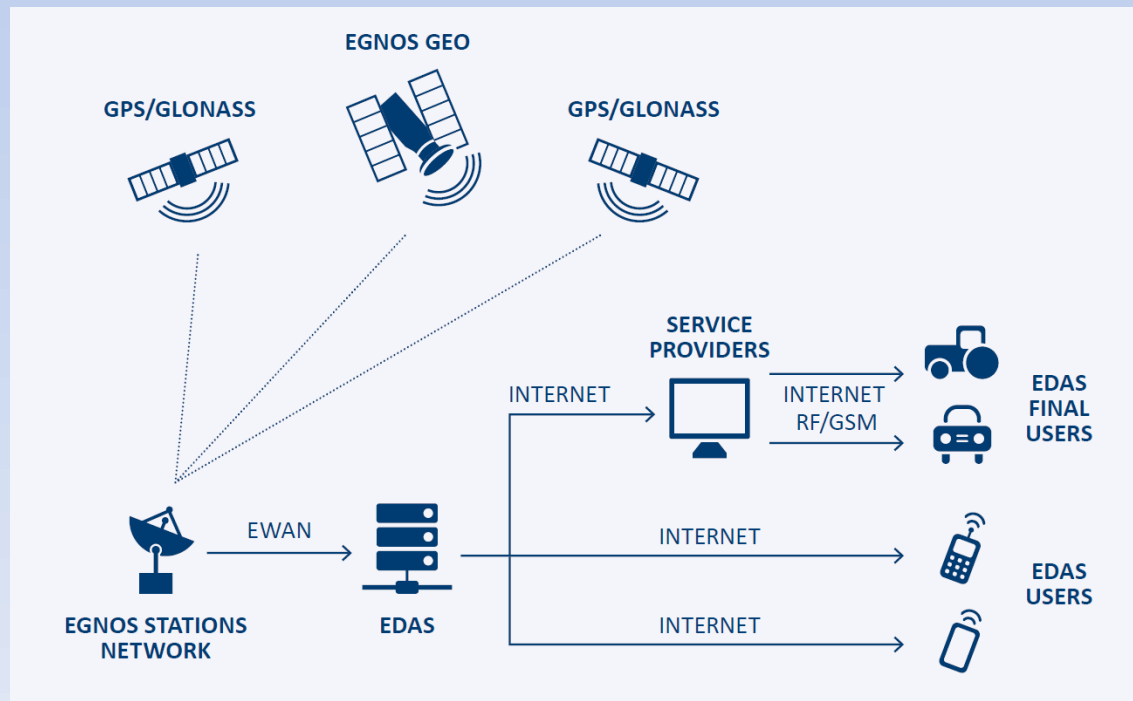
Uruchomienie usługi bezpieczeństwa życia (SoL – Safety of Life) ogłoszono w lutym 2011 roku. Oprócz poprawek dla sygnałów satelitarnych serwis ten zapewnia dane o ich wiarygodności, co pozwala szerzej korzystać z odbiorników satelitarnych w tzw. zastosowaniach bezpieczeństwa życia, w szczególności w transporcie pasażerskim.

W czasie nie dłuższym niż 6 sekund ma alarmować o znaczących spadkach dokładności sygnałów nawigacyjnych. Jednym z głównych zastosowań usługi SoL jest możliwość podchodzenia do lądowania przy gorszej widoczności. By było to możliwe, wystarczy na danym lotnisku opracować specjalne procedury, co jest znacznie tańsze niż wdrażanie radarowego systemu ILS.

Procedura takie wdrożono już m.in. na kilku polskich lotniskach.

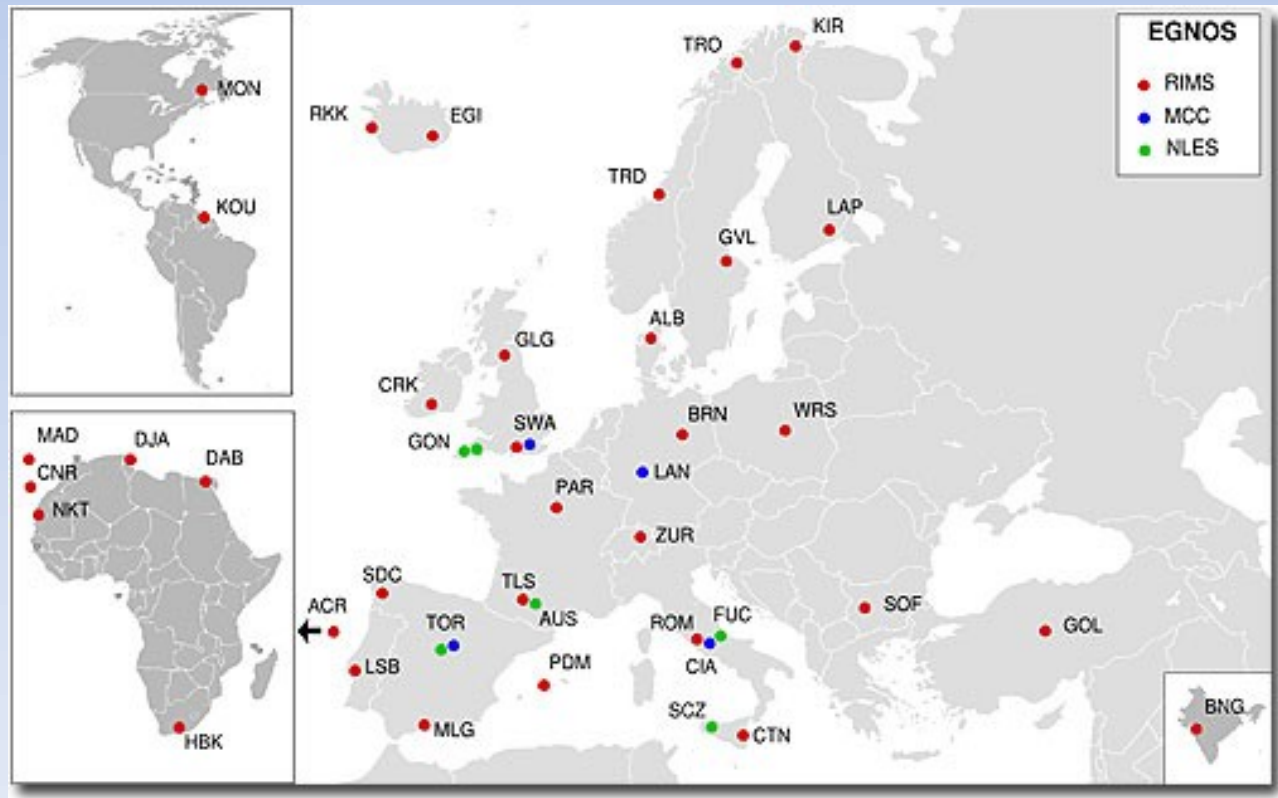
EGNOS -EDAS

26 lipca 2012 r. oficjalnie uruchomiono z kolei płatną usługę komercyjną EGNOS (EDAS). W przeciwieństwie do dwóch innych serwisów w EDAS poprawki dla sygnałów GPS nie są transmitowane za pośrednictwem satelitów telekomunikacyjnych, ale przez internet. Dzięki temu odbiornik satelitarny nie musi mieć łączności z satelitami EGNOS, co wymaga widoczności południowej części nieba.



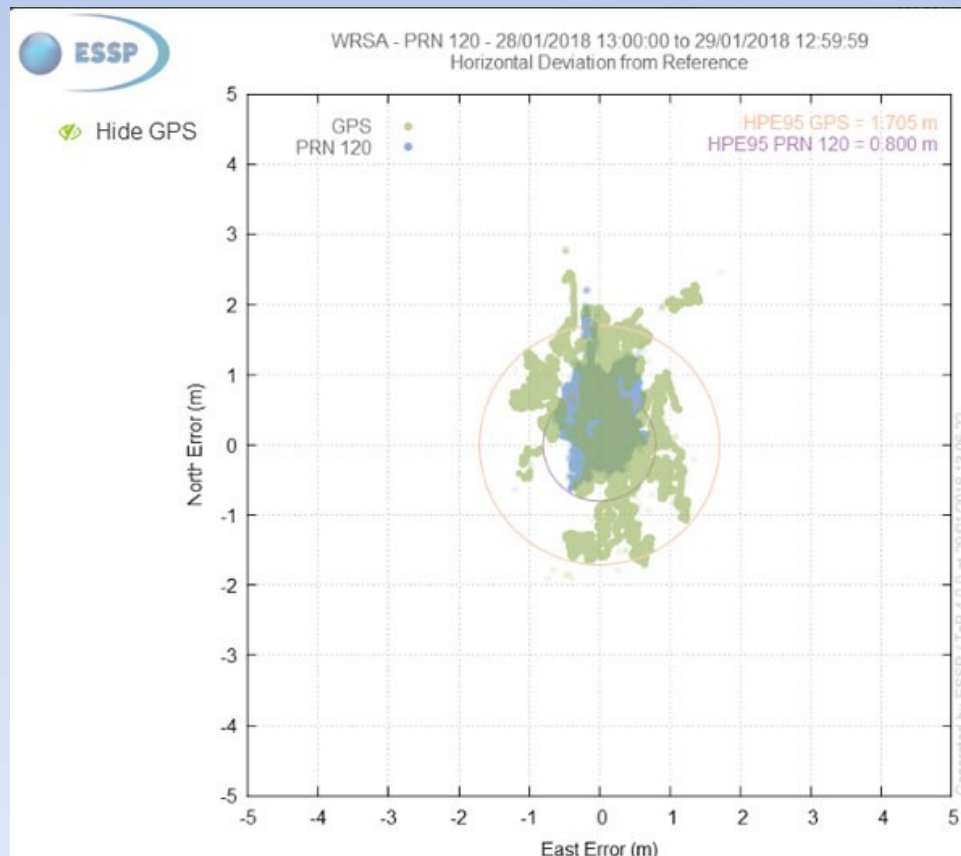
EGNOS

Obecnie (stan na 2018 r.) segment naziemny EGNOS składa się z 34 stacji pomiarowo-obszaryjnych RIMS (jedna z nich od 27 września 2004 r. pracuje w Centrum Badań Kosmicznych PAN w Warszawie), 4 stacji kontrolnych (MCC), 6 stacji transmitujących (NLES) oraz 2 stacji kontrolno-testowych (w Tuluzie i Torrejon).



EGNOS

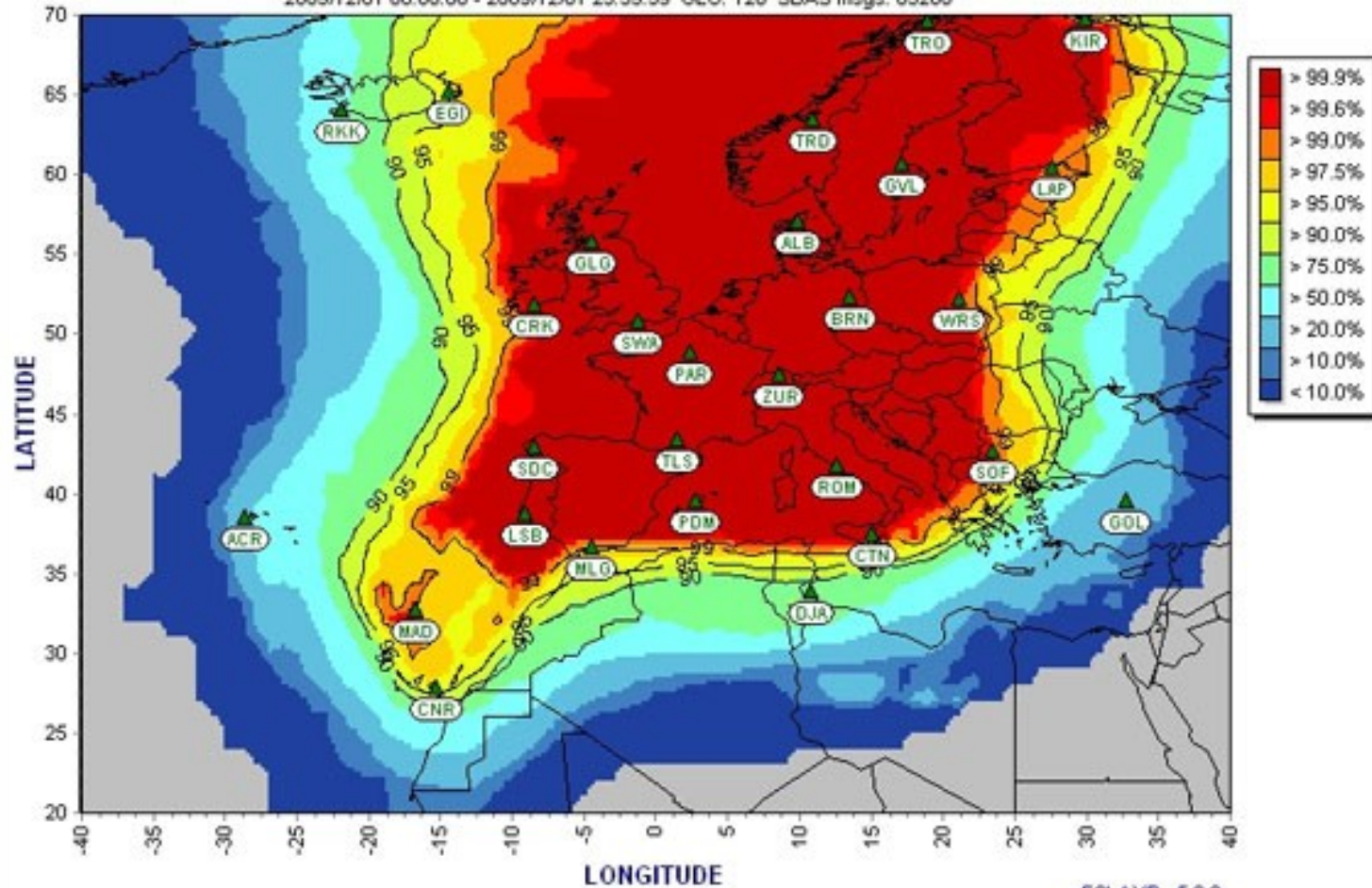
Zgodnie z danymi publikowanymi przez administratorów systemu EGNOS umożliwia wyznaczenie pozycji z dokładnością 1-2 m w poziomie przy dostępności na poziomie 99%.



EGNOS

HPL vs HAL and VPL vs VAL for Measured Availability

2009/12/01 00:00:00 - 2009/12/01 23:39:59 GEO: 120 SBAS msgs: 85200



ECLAYR v5.0.2
Produced by GMV

EGNOS

Ważnym elementem modernizacji EGNOS jest zwiększenie zasięgu jego sygnału na wschód Europy (obecnie kończy się mniej więcej na wschodniej granicy Polski). Ma to umożliwić otwieranie nowych stacji RIMS. Wkrótce powinna ruszyć wersja 3.0 systemu, co pozwoli stworzyć tzw. Multi-Constellation Regional System (MRS).

Będzie on nadawać poprawki nie tylko dla kanału GPS L1, lecz także dla L5 oraz sygnałów Galileo (E1 i E5a). Znacząco zwiększy to dokładność wyznaczania pozycji przy użyciu odbiorników dwuczęstotliwościowych.

Zgodnie z kontraktem podpisanym na początku 2018 r. przez ESA z Airbusem EGNOS V3 ma być gotowy do 2023 roku. Początkowo będzie on nadal obsługiwać tylko jedną częstotliwość. Druga ma zostać wprowadzona po półtora roku. Umowa przewiduje także modernizację usługi SoL, w tym zwiększenie jej odporności na cyberataki.

WAAS



Nazwa: WAAS (Wide Area Augmentation System)

Kraj rozwijający system: Stany Zjednoczone

Aktualna liczba satelitów: 3 (Anik F1R – 107,3°W, Inmarsat – 98°W, Galaxy-15 – 133,1°W)

Docelowa liczba satelitów: 3

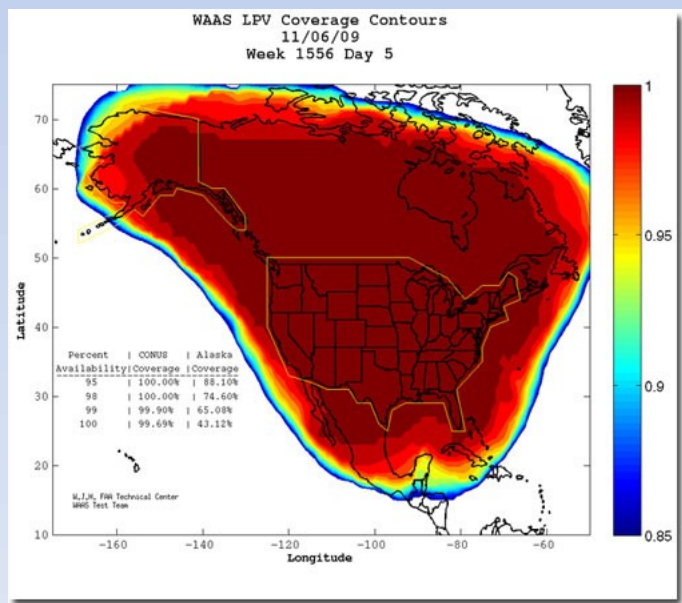
Typ orbity: geostacjonarna

Ogłoszenie operacyjności: 2003 r.

WAAS

WAAS to najstarszy system SBAS na świecie. Prace nad nim rozpoczęto już w 1995 roku, a pierwszy sygnał wyemitowano cztery lata później.

System był projektowany przede wszystkim z myślą o lotnictwie. Za zgodą amerykańskiej Federalnej Agencji Lotnictwa (FAA) piloci mogą korzystać z tego rozwiązania od 2003 roku. Ze względu na rozmieszczenie monitorujących stacji naziemnych system był początkowo użytkowany wyłącznie na obszarze Stanów Zjednoczonych.



Sytuacja zmieniła się pod koniec 2008 roku, gdy kilka stacji otwarto także w Kanadzie i Meksyku. Obecnie funkcjonuje ich 50.

WAAS

W połowie kwietnia 2010 roku wskutek awarii segment kosmiczny WAAS został pozbawiony jednego z trzech satelitów (Galaxy 15). Dla użytkowników systemu oznaczało to, że nawet przez kilkanaście miesięcy poprawki SBAS nie będą dostępne na obszarze północno-zachodniej Alaski.



Po 9 miesiącach swobodnego dryfu, udało się odzyskać kontrolę nad aparatem, a w kwietniu 2011 roku powrócił on na swoją docelową orbitę.

QZSS



Nazwa: QZSS (Quasi-Zenith Satellite System)

Kraj rozwijający system: Japonia

Aktualna liczba satelitów: 1

Docelowa liczba satelitów: 3

Typ orbity: wysoka, eliptyczna (HEO)

Ogłoszenie operacyjności: 2013 r.

QZSS

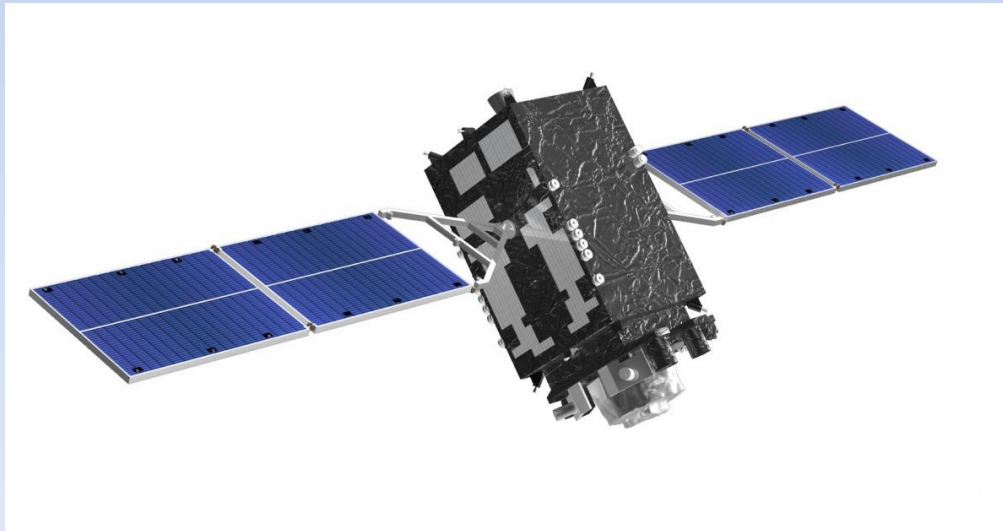
Program QZSS japoński rząd zatwierdził w 2002 roku, a więc trzy lata po rozpoczęciu prac nad MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System). W porównaniu z innymi rozwiązaniami SBAS założenia tego systemu są dość nietypowe. Koncepcja Japońskiej Agencji Kosmicznej (JAXA) zakłada bowiem, że trzy satelity QZSS będą krążyły nie – jak to jest zazwyczaj – na orbicie geostacjonarnej, lecz na tzw. quasi-zenitalnej. Jej parametry zostały dobrane tak, by przynajmniej jeden aparat był nad Japonią stale widoczny w okolicach zenitu. To będzie przekładało się na lepszą dostępność sygnału z poprawkami.



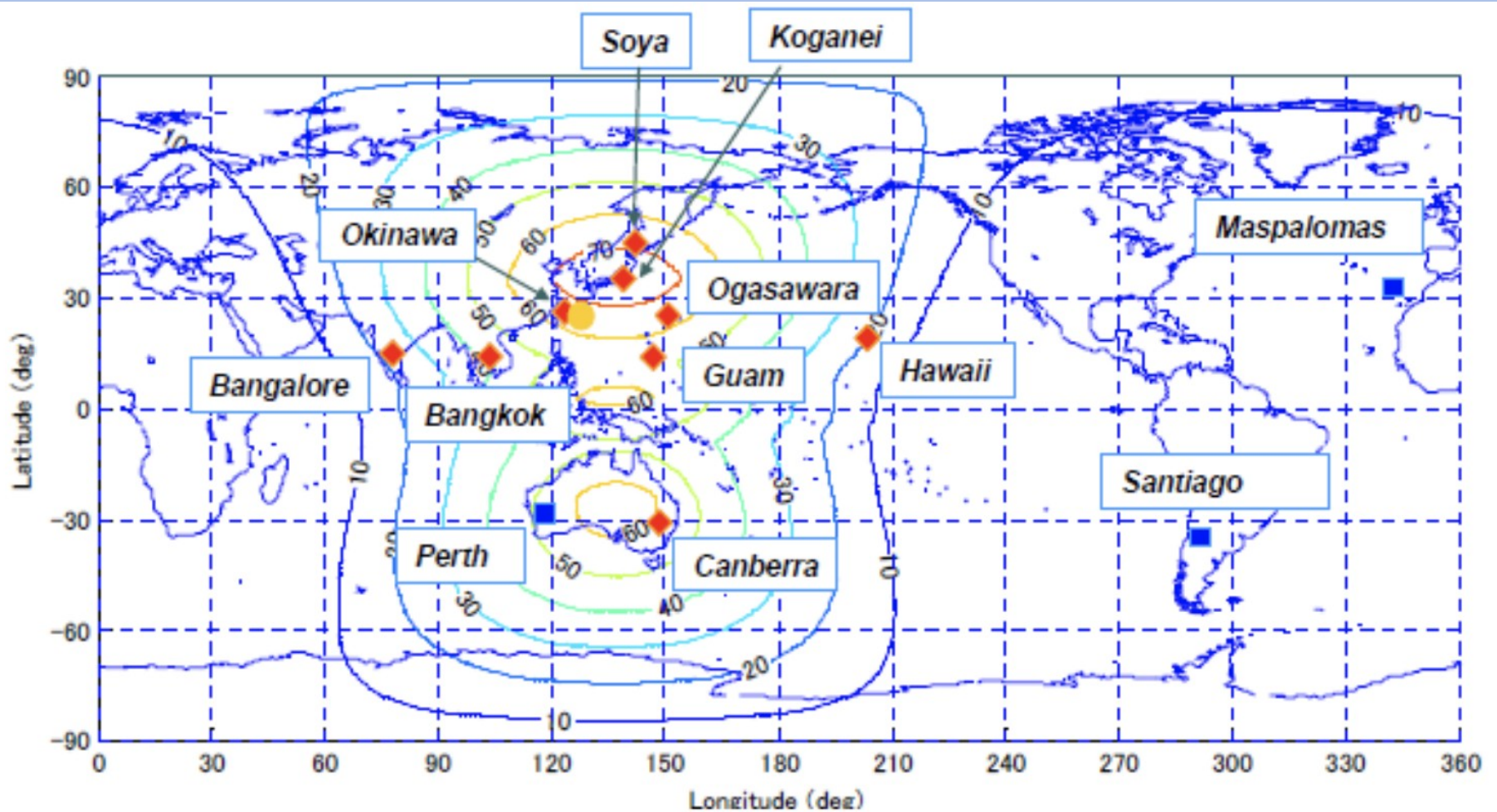
QZSS

QZSS można uznać za hybrydę systemu GNSS i SBAS. Satelity będą bowiem nadawać kompatybilne z amerykańskim GPS sygnały L1 C/A, L1C, L2C oraz L5. Jego segment kosmiczny będzie się jednak składać tylko z trzech satelitów, a to uniemożliwia wyznaczanie pozycji tylko na podstawie jego wiadomości nawigacyjnych. Poza tym, podobnie jak rozwiązania SBAS, QZSS będzie również nadawać poprawki dla GPS.

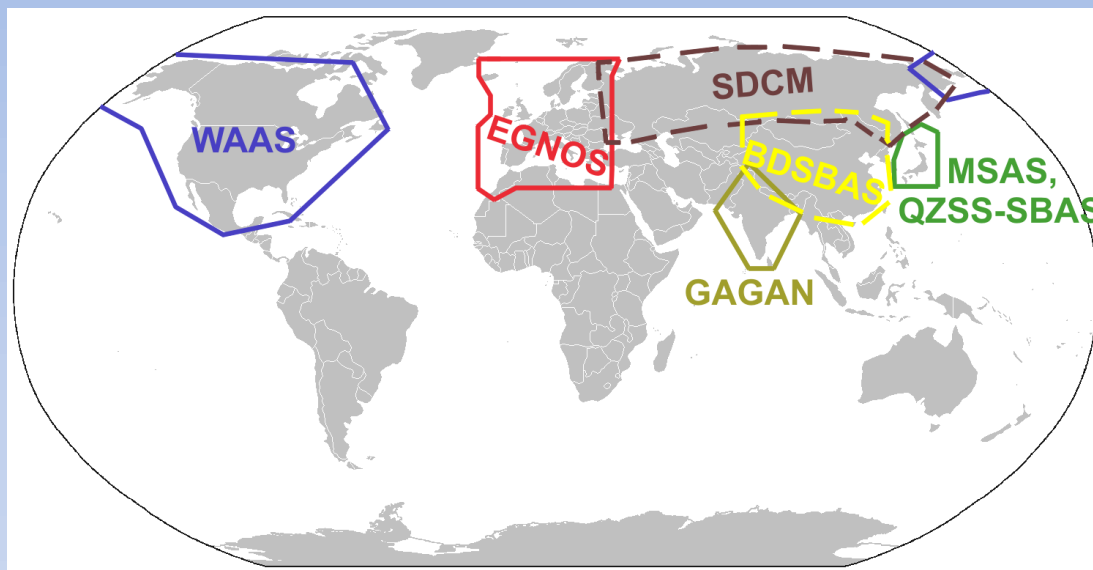
Pierwszy satelita systemu QZSS (nazwany Miczbiki, co po japońsku oznacza kroczyć) został wystrzelony 11 września 2010 roku.



QZSS



SDCM



Nazwa: SDCM (System of Differential Correction and Monitoring)

Kraj rozwijający system: Rosja

Aktualna liczba satelitów: 3 (stan na 7 kwietnia 2015 r.)

Docelowa liczba satelitów: 3 (Łucz-5A – 167°W, Łucz-5B – 95°E, Łucz-5W – 16°W)

Typ orbity: geostacjonarna

Planowane ogłoszenie operacyjności: 2018 r.

SDCM

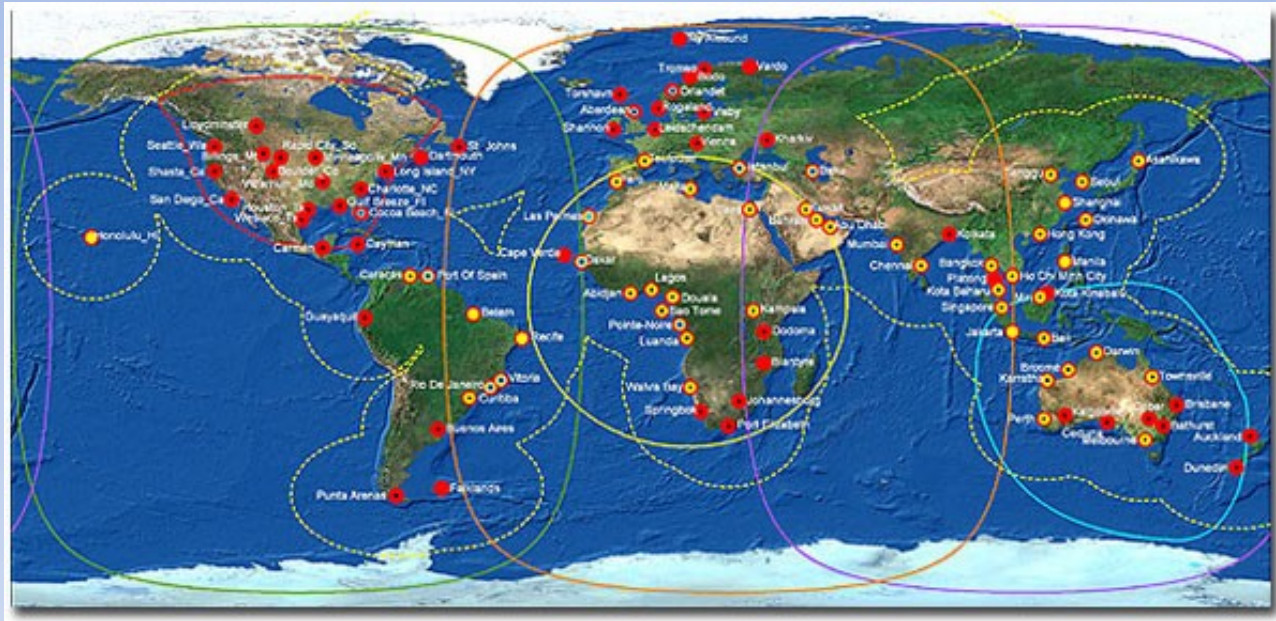
Pomysł własnego systemu SBAS pojawił się po reaktywacji programu GLONASS, gdy prezydentem Federacji Rosyjskiej został Władimir Putin.

Rozwiązanie to ma być pomostem między istniejącymi lub projektowanymi rozwiązaniami – europejskim EGNOS, japońskim MSAS i QZSS oraz indyjskim GAGAN – okalającymi Rosję.

SDCM składa się z trzech satelitów geostacjonarnych, które transmitują poprawki nie tylko dla systemu GPS, ale również – co wyjątkowe – dla GLONASS-a. Korekty są obliczane na podstawie danych z ponad 20 stacji referencyjnych.

Pierwszą z nich otwarto w 2007 roku. W połowie 2010 roku było ich już 14 (w tym jedna w obwodzie Kaliningradzkim). Docelowo ma być ich 47 w Rosji i 8 zagranicą. SDCM ma zwiększać dokładność pozycjonowania do 1-1,5 m w poziomie i 2-3 metrów w pionie.

OmniSTAR



Nazwa: OmniSTAR

Firma rozwijająca system: Fugro NV

Aktualna liczba satelitów: 7

Docelowa liczba satelitów: 7

Typ orbity: geostacjonarna

Ogłoszenie operacyjności: bd.

OmniSTAR

System opracowała firma Thales Geosolutions (część grupy Thales) i pierwotnie nazywał się LandStar. Nazwę zmieniono z końcem 2004 roku, gdy spółkę kupiło holenderskie przedsiębiorstwo Fugro NV.

Jest to pierwsze komercyjne rozwiązanie SBAS. Od 2010 roku jest to także pierwszy tego typu system oferujący poprawki dla GLONASS.

OmniSTAR wyróżnia także rekordowy zasięg – poprawki dostępne są bowiem dla większości obszarów lądowych świata. Segment naziemny systemu składa się z około 100 stacji referencyjnych (najbliżej Polski znajdują się w Wiedniu i Charkowie) i dwóch stacji kontrolnych.

Na segment kosmiczny składa się natomiast siedem satelitów telekomunikacyjnych.

OmniSTAR

Poprawki OmniSTAR dostępne są za pośrednictwem następujących serwisów:

- VBS (*Virtual Base Station*) – podstawowa usługa. Poprawki VBS obliczane są na podstawie jedno-częstotliwościowych pomiarów z kilku stacji referencyjnych. Usługa oferuje dokładność porównywalną z WAAS czy EGNOS – w materiałach promocyjnych systemu określono ją jako 70 cm w poziomie (prawdopodobieństwo 95%).
- HP (*High Performance*) – w odróżnieniu od VBS poprawki w tej usłudze obliczane są dla dwóch częstotliwości GPS, co znacząco redukuje błąd wynikający z opóźnienia jonosferycznego. Dokładność zbliżona jest do XP.
 - XP (*Extended Performance*) – poprawki obliczane są dla dwóch częstotliwości GPS z wykorzystaniem korekt orbit i zegarów atomowych. Dokładność wyznaczania pozycji wynosi 10 cm w poziomie i 15 cm w pionie (ufność 95%).
- G2 – usługa XP wzbogacona o dane dla sygnałów GLONASS. Dokładność zbliżona do XP.
- IP (*Internet Protocol*) – poprawki dostarczane są za pośrednictwem internetu. Użytkownik musi więc posiadać odbiornik wyposażony w modem GPRS. Rozwiązanie to przeznaczone jest przede wszystkim do pracy przy słabej widoczności nieba oraz na wysokich szerokościach geograficznych.