

Adam CIEĆKO¹
Stanisław OSZCZAK¹
Marek GRZEGORZEWSKI²
Janusz ĆWIKLAK²

WYZNACZENIE POZYCJI STATKU POWIETRZNEGO ORAZ DOKŁADNOŚCI Z WYKORZYSTANIEM SYSTEMU EGNOS W POLSCE WSCHODNIEJ

W artykule przedstawiono wyniki badań dotyczących dokładności pozycjonowania statku powietrznego z wykorzystaniem systemu GPS oraz EGNOS. Loty eksperymentalne wykonano w 2010 roku, w południowo – wschodniej części Polski, w Dęblinie oraz Chełmie. Precyzyjna trajektoria lotu została wyznaczona przy pomocy dwuczęstotliwościowych odbiorników geodezyjnych, marki Topcon, z dokładnością centymetrową. Pozycję odniesienia porównano z danymi zarejestrowanymi przez dwa odbiorniki nawigacyjne – Thales MobileMapper pracujące w trybie autonomicznym oraz EGNOS.

DETERMINATION OF AIRCRAFT'S POSITION AND ACCURACY WITH THE USE OF EGNOS SYSTEM IN EASTERN POLAND

The paper presents results of the research concerning determination of aircraft positioning accuracy with the use of GPS and EGNOS. Experimental flights were carried out in 2010, in south-eastern part of Poland, in Dęblin and Chełm. Precise trajectory of the aircraft was determined with the use of dual frequency geodetic Topcon receivers with centimeter accuracy. The reference position was compared with data logged by two navigation receivers – Thales MobileMapper working in autonomous and EGNOS mode.

1. WSTĘP

Teoretycznie EGNOS powinien zwiększać dokładność wyznaczania pozycji GPS do około 3 metrów. Jak wykazują przeprowadzone badania, w Polsce – szczególnie w części wschodniej – wartość ta jest niższa, gdyż system nie nadaje poprawek dla części satelitów widocznych nad Polską. W niniejszym artykule opisano przebieg badań oraz zaprezentowano wyniki z dwóch lotów samolotem Cessna wykonanych na wschód od Warszawy, gdzie poprawki EGNOS są tylko częściowe.

¹Katedra Geodezji Satelitarnej i Nawigacji, Uniwersytet Warmińsko – Mazurski w Olsztynie, a.ciecko@kgsin.pl

²Wydział Lotnictwa, Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie, marekgrzegorzewski@wp.pl

2. SYSTEM EGNOS

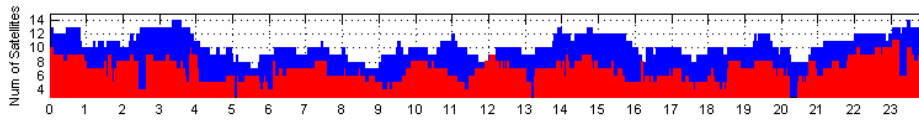
System EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay System) jest europejskim systemem satelitarnym typu SBAS (Satellite Based Augmentation System) opierającym swoje działanie o satelity geostacjonarne wykorzystywane do transmisji poprawek różnicowych. EGNOS jest przedsięwzięciem międzynarodowym, którego budowę oraz funkcjonowanie nadzorują wspólnie: Komisja Europejska, ESA (European Space Agency) oraz Eurocontrol. Najważniejsze zadania systemu to transmisja poprawek różnicowych i informowanie o awariach systemu GPS. System zwiększa dokładność oraz wiarygodność pozycji uzyskiwanej z GPS, co ma szczególne znaczenie dla lotnictwa. Pełną operacyjność systemu EGNOS ogłoszono 1 października 2009 roku, jednak do dnia dzisiejszego system nie spełnia wszystkich wymagań użytkowników w lotnictwie. Oficjalna certyfikacja EGNOS w lotnictwie spodziewana jest jeszcze w tym roku, co otworzy drogę do szerokiego zastosowania systemów GNSS w nawigacji lotniczej w Polsce i w Europie, w szczególności nawigacji obszarowej – RNAV GNSS.

Segment kosmiczny systemu EGNOS składa się z trzech satelitów geostacjonarnych obejmujących zasięgiem całą Europę. Segment naziemny składa się m.in. z 34 stacji pomiarowo-obszernych RIMS (Ranging and Integrity Monitoring Stations), które permanentnie wykonują obserwacje sygnałów satelitów GPS (rys. 1).



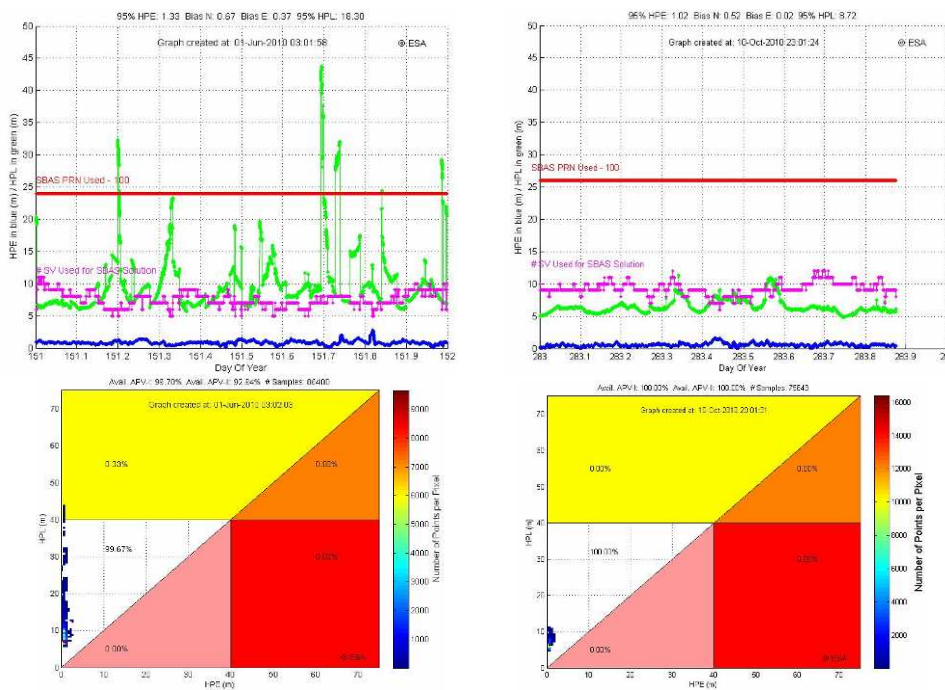
Rys. 1. Segment naziemny systemu EGNOS

Jedna ze stacji RIMS znajduje się w Warszawie w Centrum Badań Kosmicznych PAN. Dane ze stacji RIMS są przetwarzane przez 4 stacje kontrolne MCC (Mission Control Center), które obliczają poprawki różnicowe. Poprawki są wyznaczane dla satelitów, które są obserwowane przez minimum 3 stacje RIMS. Ze względu na brak stacji RIMS na wschód od Warszawy (rys. 1) część satelitów obserwowana na terenie Polski wschodniej nie posiada poprawek. W Warszawie tylko ok. 60-75% widocznych satelitów posiada poprawki różnicowe, a im dalej na wschód tym sytuacja staje się gorsza. Liczbę widocznych satelitów oraz satelitów z poprawkami w Warszawie ilustruje rysunek 2.

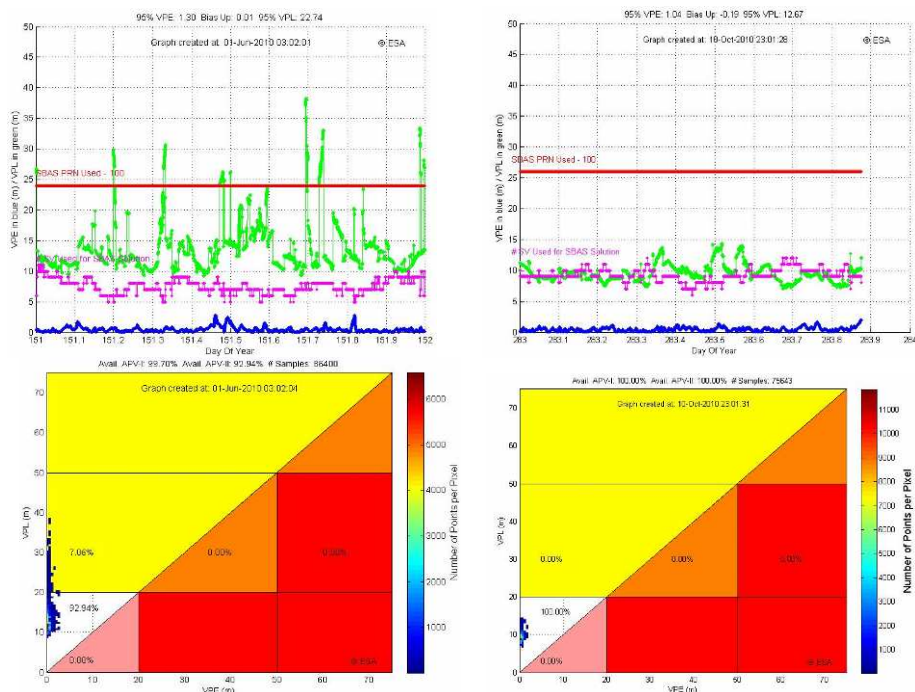


Rys. 2. Liczba satelitów z poprawkami EGNOS (czerwony) oraz liczba wszystkich widocznych satelitów (niebieski) w ciągu doby w Warszawie - (L. Jaworski)

Brak poprawek do wszystkich satelitów skutkuje spadkiem dokładności, dlatego też Polska od lat zabiega o budowę stacji RIMS na Ukrainie, co pozwoliłoby na pełne wykorzystanie systemu EGNOS. Na rysunku 3 przedstawiono gwarantowane dokładności dla składowych poziomych (HPL), błąd położenia dla składowych poziomych (HPE) oraz diagram Stanforda dla składowych poziomych dla Warszawy (CBK) (z dnia 1 czerwca 2010) oraz Tuluzy (Francja) (z dnia 10 października), gdzie nie występuje problem z generowaniem poprawek do wszystkich satelitów. Rysunek 4 prezentuje te same informacje dla składowych pionowych. Na rysunkach tych wyraźnie widać niestabilność gwarantowanych dokładności w Warszawie.



Rys. 3. Gwarantowana dokładność dla składowych poziomych (HPL) i błąd położenia dla składowych poziomych (HPE) oraz diagram Stanforda dla składowych poziomych dla Warszawy (CBK) – po lewej oraz Tuluzy (Francja) – po prawej



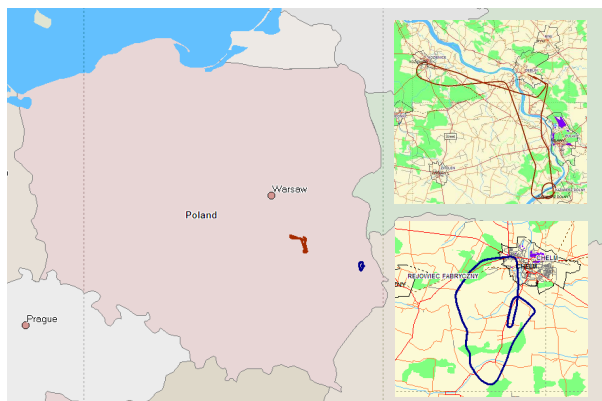
Rys. 4. Gwarantowana dokładność dla składowych pionowych (VPL) i błąd położenia dla składowych pionowych (VPE) oraz diagram Stanforda dla składowych pionowych dla Warszawy (CBK) – po lewej oraz Tuluzy (Francja) – po prawej

3. BADANIE DOKŁADNOŚCI POZYCJONOWANIA SAMOLOTU CESSNA

Głównym celem przeprowadzonych badań było wykorzystanie satelitarnych technik pozycjonowania do określenia precyzyjnej trajektorii lotu samolotu Cessna w celu wykonania analiz dokładnościowych systemu GPS oraz systemu GPS wspomaganego korektami EGNOS. Wyniki pomiarów wykonane z użyciem serwisu otwartego (Open Service) systemu EGNOS zostały zestawione z wynikami pomiaru autonomicznego systemu GPS. Ponadto eksperyment miał za zadanie zweryfikować dokładność wyznaczania pozycji samolotu przy pomocy GPS w pomiarach autonomicznych oraz na ich podstawie potwierdzić użyteczność systemu EGNOS dla potrzeb nawigacji lotniczej. Badania i eksperymenty wykonano we współpracy Katedry Geodezji Satelitarnej i Nawigacji, UWM w Olsztynie z Wydziałem Lotnictwa, WSOSP w Dęblinie.

3.1 Przebieg eksperymentu

Do lotów testowych wybrano dwa lotniska w Dęblinie oraz Chełmie, ulokowane na wschód od Warszawy. Trajektorie lotów eksperymentalnych zaprezentowano na rysunku 5. Loty wykonano w dniach: 1 czerwca 2010 w Dęblinie oraz 10 września 2010 w Chełmie.



Rys. 5. Trajektorie lotów eksperymentalnych w Dęblinie oraz Chełmie

Dokładna trajektoria lotu statku powietrznego została obliczona w systemie EUREF'89 w odstępach jednosekundowych przy użyciu dwuczęstotliwościowych odbiorników geodezyjnych Topcon HiPerPro oraz techniki OTF (on-the-fly) w trybie „post processing”. W celu zrealizowania założeń eksperymentu podczas lotu przeprowadzono pomiary GPS, mające na celu wyznaczenie precyzyjnej pozycji anteny odbiornika Topcon umieszczonego na pokładzie samolotu Cessna 172 (w Dęblinie) oraz Cessna 152 (w Chełmie), w kabinie pilotów – rys. 6. Do wyznaczenia pozycji odniesienia wykorzystano po jednej stacji lokalnej GPS (odbiornik Topcon HiPerPro), umieszczony przy pasie startowym oraz po 2 stacje wirtualne, których obserwacje pozyskano z systemu ASG-EUPOS, rozmieszczone równomiernie wzdłuż tras lotów.



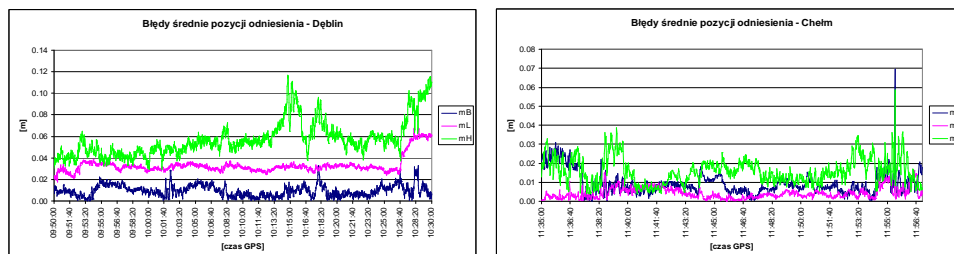
Rys. 6. Samolot Cessna 172 (po lewej) i Cessna 152 (po prawej) oraz odbiorniki satelitarne wykorzystane w badaniach

3.2. Analizy dokładnościowe

Pozycję odniesienia – „prawdziwą” wyznaczono jako średnią z trzech niezależnych wyznaczeń OTF. Obliczeń dokonano w trybie postprocessing z wykorzystaniem programu AOSS v. 2.0 (Ashtech Office Suite for Survey) firmy Ashtech. Mając obserwacje nadliczbowe można było wyznaczyć błąd średni wyznaczonej pozycji dla każdej sekundy lotu. Błędy średnie policzono oddzielnie dla każdej współrzędnej B, L, H (elipsoidalne) przy użyciu następujących wzorów:

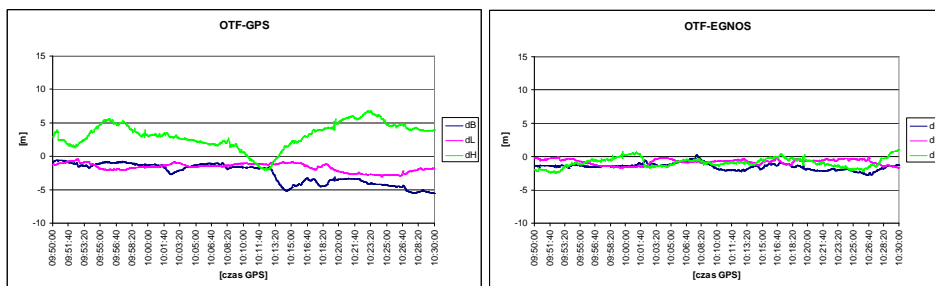
$$mB = \sqrt{\frac{\sum_i (B_{sr} - B_i)^2}{n-1}} \quad mL = \sqrt{\frac{\sum_i (L_{sr} - L_i)^2}{n-1}} \quad mH = \sqrt{\frac{\sum_i (H_{sr} - H_i)^2}{n-1}} \quad (1)$$

Otrzymane błędy średnie dla każdej sekundy lotu są na poziomie kilku centymetrów, graficzną prezentację zaprezentowano na rysunku 7. Tak otrzymaną trajektorię, o dokładności centymetrowej, porównano z wyznaczeniami w trybie autonomicznym oraz z pozycjonowaniem z wykorzystaniem poprawek systemu EGNOS, co umożliwiło wiarygodne określenie aktualnych dokładności systemu GPS oraz systemu EGNOS z wykorzystaniem niedrogich odbiorników satelitarnych. Obserwacje autonomiczne oraz EGNOS wykonano odbiornikami nawigacyjnymi Thales Mobile Mapper. Ręczne odbiorniki MobileMapper firmy Thales wykorzystane podczas pomiaru pozwalają na pomiar pojedynczego punktu, powierzchni oraz linii, która była mierzona podczas eksperymentu. Każdy z nich posiada odłączaną kartę pamięci, która pozwala na transfer danych zarówno z odbiornika jak i do niego. Odbiornik jest wyposażony w moduł WAAS/EGNOS.

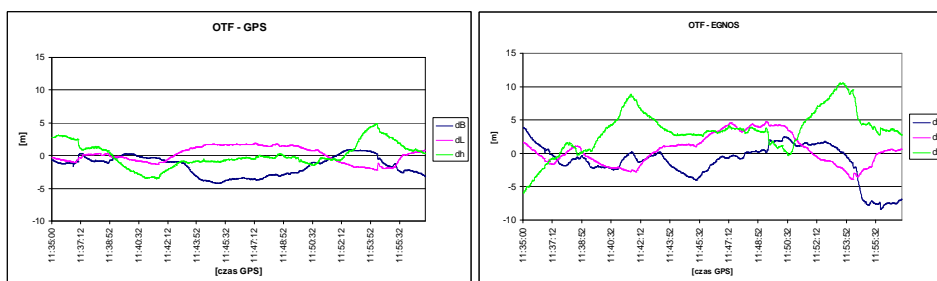


Rys. 7. Błędy średnie pozycji odniesienia na każdą sekundę lotu

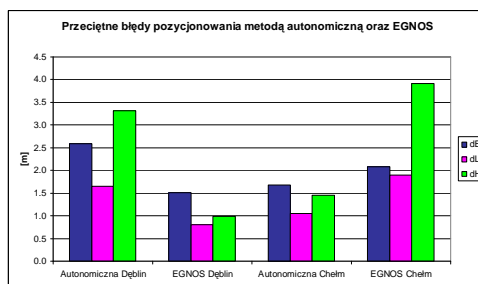
Na rysunkach 8 oraz 9 przedstawiono różnice, dla każdej sekundy lotu, pomiędzy precyzyjnym pozycjonowaniem OTF, a pozycjonowaniem autonomicznym i wspomaganym poprawkami EGNOS. Na rysunku 8 widać jak sygnał EGNOS znacznie poprawił pozycjonowanie samolotu podczas lotu w Dęblinie 1 czerwca 2010 roku. Odmierna sytuacja miała miejsce w Chełmie 10 września 2010 roku, kiedy to korekcje EGNOS nie tylko nie poprawiły dokładności, ale ją pogorszyły – rysunek 9. Zestawienie błędów przeciętnych dla poszczególnych składowych trójwymiarowej pozycji statku powietrznego zaprezentowano na rysunku 10.



Rys. 8. Różnice między współrzędnymi OTF oraz współrzędnymi autonomicznym i EGNOS, uzyskane w Dęblinie



Rys. 9. Różnice między współrzędnymi OTF oraz współrzędnymi autonomicznym i EGNOS, uzyskane w Chełmie



Rys. 10. Przeciętne błędy pozycjonowania

4. WNIOSKI

Wyniki pozycjonowania autonomicznego oraz przy wykorzystaniu systemu EGNOS uzyskano niedrogimi i ogólnie dostępnymi odbiornikami GPS, które mogą być pomocne w nawigacji obszarowej RNAV GNSS.

Wykonane analizy dokładnościowe pozwalają uznać techniki GPS oraz EGNOS za bardzo przydatne w nawigacji lotniczej. Technika autonomiczna dała przeciętne

dokładności rzędu 1.0 – 2.5 metra dla współrzędnych horyzontalnych oraz 1.5 – 3.5 metra dla wysokości. Zastosowanie korekcji EGNOS znacznie poprawiło dokładność pozycjonowania podczas lotu w Dęblinie znajdującego się na podobnej co Warszawa długości geograficznej. Uzyskane podczas tego pomiaru dokładności rzędu 1 – 1.5 metra dla współrzędnych horyzontalnych oraz wertykalnych zadowolą większość użytkowników satelitarnych systemów nawigacyjnych (nie tylko lotniczych). Niestety, wyniki uzyskane w Chełmie, nie są tak zadawalające. Ze względu na znaczne wysunięcie na wschód duża część satelitów GPS nie otrzymywała poprawek różnicowych, w wyniku czego pozycjonowanie EGNOS okazało się gorsze od pozycjonowania autonomicznego, osiągając przeciętny błąd wyznaczenia pozycji wertykalnej na poziomie 4 metrów, przy czym błąd maksymalny osiągnął wartości 10 metrów w poziomie oraz w pionie.

Uzyskane wyniki potwierdzają pilną konieczność utworzenia nowej stacji RIMS na wschód od Warszawy. Wydaje się, że bez tej stacji pomimo oficjalnej certyfikacji sygnału EGNOS dla celów lotnictwa, co ma nastąpić w tym roku, nawigacja lotnicza we wschodniej Polsce nie będzie spełniała wymaganej dokładności, a przede wszystkim wiarygodności.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] Ciecko A., Bakula M., Oszczak S., Grzegorzewski M.: *Aircraft Trajectory Determination and Accuracy Estimation of Different GPS Methods*, International Conference on REAL TIME GNSS, Trieste, Italy, 9-10 September 2002, Published in Reports on Geodesy, No 3(63), 2002, pp. 61-68.
- [2] Ciecko A., Oszczak S.: *Estimation of Accuracy of Satellite Dynamic Positioning*, The 11th IAIN-World Congress, Berlin, Germany, 21 - 24 October 2003, CD ROM Proceedings – Paper No 222, 2003.
- [3] Grzegorzewski M., Oszczak S., Ciecko A., Cwiklak J.: *Wyznaczenie trajektorii lotu samolotu TS 11 Iskra satelitarną metodą OTF*, Annual Seminar „Earth Rotation And Satellite Geodesy From Astrometry To GNSS”, Warsaw, 18-19 September 2003, CD ROM Proceedings, 2003.
- [4] Grzegorzewski M., Cwiklak J., Oszczak S., Ciecko A., Popielarczyk D.: *Determination of Aircraft Flight Trajectory with Radar, GPS OTF and EGNOS Positioning*, The European Navigation Conference GNSS 2004, Rotterdam, The Netherlands, 16-19 May 2004, CD ROM Proceedings, 2004.
- [5] Grzegorzewski M., Ciecko A., Oszczak S., Popielarczyk D.: *Autonomous and EGNOS Positioning Accuracy Determination of Cessna Aircraft on the Edge of EGNOS Coverage*, ION NTM, San Diego, CA, USA, January 28-30 2008, CD ROM proceedings, pp. 407-410, 2008.
- [6] Jaworski L.: *Performance of Warsaw EGNOS/RIMS station*, manuscript 2007.