

**Janusz ĆWIKLAK, Marek GRZEGORZEWSKI, Henryk JAFERNIK,  
Stanisław OSZCZAK**

Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych w Dęblinie

**Adam CIEĆKO**

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

## **WYKORZYSTANIE SYSTEMU EGNOS NA POTRZEBY NAWIGACJI LOTNICZEJ W POLSCE WSCHODNIEJ**

### **Słowa kluczowe**

GNSS, EGNOS, SBAS, nawigacja lotnicza.

### **Streszczenie**

W artykule przedstawiono problematykę wykorzystania systemu EGNOS do pozycjonowania samolotu w Polsce wschodniej. W tym celu przeprowadzono loty eksperymentalne w okolicach lotniska w Dęblinie i w 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 typu Thales MobileMapper pracujące w trybie autonomicznym oraz EGNOS. Jak wynika z badań rozważany system nie spełnia wymagań określonych dla nawigacji lotniczej na tym obszarze.

### **Wprowadzenie**

Globalny Plan Żeglugi Powietrznej dla Systemów CNS/ATM [2] uznaje globalny satelitarny system nawigacyjny (GNSS) jako kluczowy element systemów łączności, nawigacji i nadzoru w procesie zarządzania ruchem lotniczym (CNS/ATM) i jako fundament, na którym państwa mogą budować usprawnione

serwisy (służby oraz usługi) nawigacji lotniczej [1,6]. Standardy i wymogi (SARPs) dla GNSS zostały opracowane przez Komisję Globalnego Satelitarne-go Systemu Nawigacyjnego i wprowadzone do Załącznika nr 10 ICAO, tom I w 2001 roku jako część Dodatku 76 tego załącznika [7]. Materiał zawarty w Dodatku D do tomu I dostarcza rozszerzonych wskazówek odnośnie do aspektów technicznych zastosowania GNSS w różnorodnych elementach lotu, jak operacje trasowe czy operacje związane z precyzyjnym podejściem kat. I.

Powyższe wnioski wynikają z faktu, że zastosowanie tylko systemu GPS (pomiar w trybie autonomicznym) nie spełnia ścisłych wymagań lotnictwa. Dla spełnienia wymagań operacyjnych dla różnych faz lotu podstawowe konstelacje wymagają systemów wspomagających. W zależności od zastosowanego źródła korekcji i sposobu jego transmisji do potencjalnego użytkownika rozróżniamy następujące kategorie podsystemów wspomagających:

- ABAS (ang. Aircraft Based Augmentation System) dane korekcyjne wypracowywane są w oparciu o urządzenia znajdujące się na pokładzie statku powietrznego;
- SBAS (ang. Satellite Based Augmentation System) transmisja danych korekcyjnych wypracowanych przez sieć stacji naziemnych jest transmitowana do użytkownika za pośrednictwem satelity geostacjonarnej;
- GBAS (ang. Ground Based Augmentation System) transmisja danych korekcyjnych wypracowanych przez sieć stacji naziemnych jest transmitowana do użytkownika za pośrednictwem łączy radiowych (w lotnictwie pasmo VHF).

Głównym zadaniem powyżej przedstawionych systemów jest zapewnienie odpowiedniej dokładności i wiarygodności systemu.

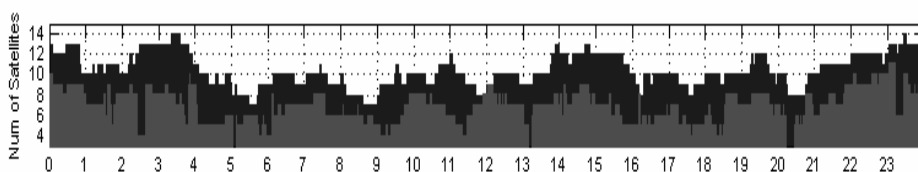
Ponadto wybór odpowiedniego systemu jest uzależniony od wielu kryteriów (etap lotu, obszar wykorzystania). Ogólnie przyjmuje się, że ABAS może być wykorzystywany głównie w operacjach trasowych, nieprecyzyjnych podejściach do lądowania, natomiast SBAS dzięki globalnemu zasięgowi i wysokich parametrom technicznym znajdzie zastosowanie w większości operacji lotniczych. Operacje związane z precyzyjnym podejściem do lądowania i lądowaniem będą zabezpieczone głównie systemem GBAS [3].

## 1. Charakterystyka systemu EGNOS

Przedstawicielem metody SBAS na naszym kontynencie jest system EGNOS (ang. European Geostationary Navigation Overlay System), który przeznaczony jest do zabezpieczenia potrzeb nawigacji lotniczej, morskiej i lądowej w Europie. System EGNOS jest wysokiej klasy precyzyjnym systemem nawigacji bazującym na transmisji przez satelity geostacjonarne INMARSAT poprawek różnicowych DGPS i DGLONASS, a także informacji dotyczących wiarygodności pomiarów. Zakłada się, że odpowiednie oprogra-

mowanie umożliwi przestrzenną lokalizację na mapie cyfrowej zarówno pojedynczego ruchomego obiektu, jak też grupy statków powietrznych, morskich czy pojazdów lądowych z dokładnością kilku metrów. System został zbudowany pod egidą Komisji Unii Europejskiej (CEU), Europejskiej Agencji Kosmicznej (ESA) oraz Europejskiej Komisji Bezpieczeństwa i Żeglugi Powietrznej (EUROCONTROL). System EGNOS zapewnia informacje o odległości, wiarygodności oraz dane korekcyjne dla systemów satelitarnych, transmitując je poprzez satelity geostacjonarne. Segment kosmiczny systemu EGNOS składa się z trzech satelitów geostacjonarnych obejmujących zasięgiem całą Europę. Segment naziemny składa się m.in. z 34 stacji pomiarowo-observacyjnych RIMS (ang. Ranging and Integrity Monitoring Stations), które permanentnie wykonują obserwacje sygnałów satelitów GPS [5].

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 część satelitów obserwowana na terenie Polski wschodniej nie ma poprawek. W Warszawie tylko ok. 60–75% widocznych satelitów ma poprawki różnicowe, a im dalej na wschód, tym sytuacja staje się gorsza [8]. Liczbę widocznych satelitów oraz satelitów z poprawkami w Warszawie ilustruje rysunek 1.



Rys. 1. Liczba satelitów z poprawkami EGNOS (jaśniejszy) oraz liczba wszystkich widocznych satelitów (ciemniejszy) 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.

## 2. Uwarunkowania wykorzystania metody SBAS w lotnictwie

SBAS zapewnia o wiele większą dostępność serwisu niż konstelacje podstawowe z ABAS poprzez korekcję różnicową i informacje wiarygodności transmitowane poprzez satelitę. Przy zapewnieniu odpowiednich warunków SBAS może wspierać podejścia z nawigacją w płaszczyźnie pionowej (APV).

Dzięki wykorzystaniu techniki SBAS można obniżyć minima lotniska, tym samym czyniąc je bardziej użytecznymi. Z pewnością nawigacja pionowa w podejściach SBAS znacznie zwiększy bezpieczeństwo przy minimach zbliżonych do kategorii I lądowania przy redukcji wielu elementów infrastruktury naziemnej. Ponadto SBAS może wspierać wszystkie operacje RNAV trasowe i w pobliżu lotniska, dając możliwość nawigacji RNAV większej liczbie użytkowników. Dzięki temu można zreorganizować przestrzeń powietrzną w kierunku maksymalnej efektywności i pojemności, pozwalając statkom powietrznym wykonywać loty między lotniskami po najbardziej efektywnej trasie. Wysoka dostępność serwisu pozwoli krajom wycofać z użytkowania tradycyjne pomoce nawigacyjne, co obniży koszty. Obecnie istnieją cztery systemy SBAS: europejski EGNOS, indyjski GAGAN, japoński MTSAT i amerykański WAAS.

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). Biorąc pod uwagę wymienione uwarunkowania, w tym niskie koszty pozyskania i eksploatacji po stronie użytkownika, system EGNOS może być obecnie jednym z najlepszych rozwiązań dla małych lotnisk sportowych, prywatnych, a nawet regionalnych, w celu podniesienia kategorii lotniska i tym samym zwiększenia możliwości jego wykorzystania w trudnych warunkach meteorologicznych (niskie podstawy chmur i ograniczona widzialność)

### **3. Badanie dokładności pozycjonowania samolotu z wykorzystaniem systemu EGNOS**

Badania wykonano w ramach projektu rozwojowego pt.: System monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS.

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 za pomocą GPS w pomiarach autonomicznych oraz na ich podstawie potwierdzić użyteczność systemu EGNOS na potrzeby 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. Dokładna trajektoria lotu statku powietrznego została obliczona w systemie EUREF'89 w odstępach jednosekundowych z użyciem dwuczęstotliwościowych odbiorników geodezyjnych Topcon HiPerPro oraz techniki OTF (on-the-fly) w trybie „post processing”.

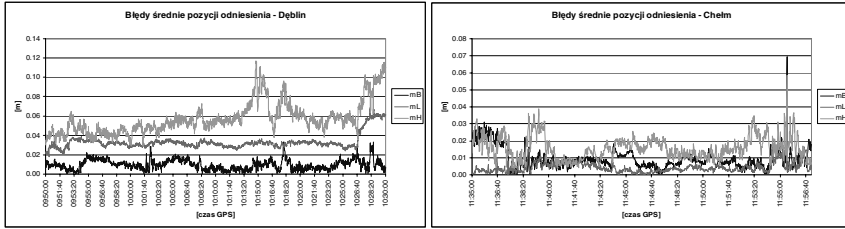
W celu zrealizowania założeń eksperymentu podczas lotu przeprowadzono pomiary GPS, mające na celu wyznaczenie precyzyjnej pozycji anteny odbiornika Topcon umieszczonego na pokładzie samolotu Cessna 172 (w Dęblinie) oraz Cessna 152 (w Chełmie), w kabinie pilotów. Do wyznaczenia pozycji odniesienia wykorzystano po jednej stacji lokalnej GPS (odbiornik Topcon HiPerPro), umieszczonej przy pasie startowym oraz po 2 stacje wirtualne, których obserwacje pozyskano z systemu ASG-EUPOS, rozmieszczone równomiernie wzdłuż tras lotów.

### **3.2. Analizy dokładnościowe**

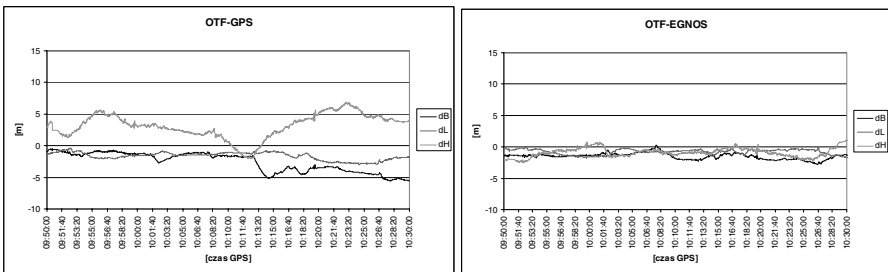
Pozycję odniesienia („prawdziwą”) wyznaczono jako średnią z trzech niezależnych wyznaczeń OTF. Obliczeń dokonano w trybie postprocessing z wykorzystaniem programu AOSS v. 2.0 (Ashtech Office Suite for Survey) firmy Ashtech. Mając obserwacje nadliczbowe, można było wyznaczyć błąd średni wyznaczonej pozycji dla każdej sekundy lotu [4, 5].

Otrzymane błędy średnie dla każdej sekundy lotu są na poziomie kilku centymetrów, graficzną prezentację zaprezentowano na rysunku 2. 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 popularnych 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 ma odłączaną kartę pamięci, która pozwala na transfer danych zarówno z odbiornika, jak i do niego. Odbiornik jest wyposażony w moduł WAAS/EGNOS.

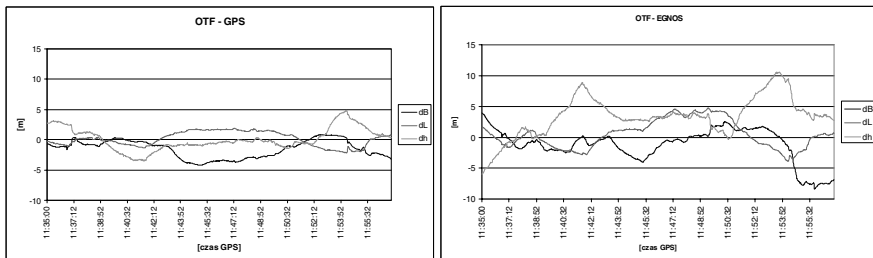
Na rysunkach 3 oraz 4 przedstawiono różnice, dla każdej sekundy lotu, pomiędzy precyzyjnym pozycjonowaniem OTF a pozycjonowaniem autonomicznym i wspomaganym poprawkami EGNOS. Na rysunku 3 widać, jak sygnał EGNOS znacznie poprawił pozycjonowanie samolotu podczas lotu w Dęblinie 1 czerwca 2010 roku. Odmienna sytuacja miała miejsce w Chełmie 10 września 2010 roku, kiedy to korekcje EGNOS nie tylko nie poprawiły dokładności, ale ją pogorszyły (rys. 5). Zestawienie błędów przeciętnych dla poszczególnych składowych trójwymiarowej pozycji statku powietrznego zaprezentowano na rysunku 6.



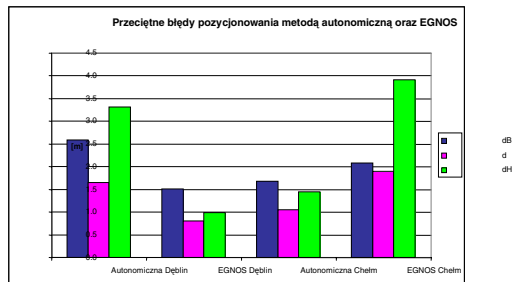
Rys. 2. Błędy średnie pozycji odniesienia na każdą sekundę lotu



Rys. 3. Różnice między współrzędnymi OTF oraz współrzędnymi EGNOS (Dęblin)



Rys. 4. Różnice między współrzędnymi OTF oraz współrzędnymi EGNOS (Chełm)



Rys. 5. Przeciętne błędy pozycjonowania

## Wnioski

Wyniki pozycjonowania autonomicznego oraz z wykorzystaniem 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  $1,0 \div 2,5$  metra dla współrzędnych horyzontalnych oraz  $1,5 \div 3,5$  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  $1 \div 1,5$  metra dla współrzędnych horyzontalnych oraz wertykalnych zadowolą większość użytkowników satelitarnych systemów nawigacyjnych (nie tylko lotniczych). Niestety, wyniki uzyskane w Chełmie nie są tak zadowalające. 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.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2009–2011 jako projekt rozwojowy.

## Bibliografia

1. Akademe de Marine, Akademe Nationale de l'Air et de l'Espace: System nawigacyjny Galileo. WKŁ, Warszawa 2006.
2. Global Air Navigation Plan For CNS/ATM System Doc 9750-An/963/ICAO
3. Global Navigation Satellite System (GNSS) manual. ICAO, Version 1.0. AN-Conf/11-IP/14
4. 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.
5. 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.
6. Gunnar Frisk: Gate-to Gate Seamless Aviation. Galleo's World, Spring 2000.
  7. ICAO Annex 10, Volume 1, Appendix 76, ICAO 2001.
  8. Jaworski L.: Performance of Warsaw EGNOS/RIMS station. manuscript 2007.
  9. Oszczak S.: Badania nad utworzeniem Satelitarnego Systemu pozycjonowania Nawigacji i Monitowania Pojazdów, Konferencja DESIW Mrągowo – Szcztyno 24–26 październik 2005. Materiały CD-ROM.

Recenzent:  
**Józef ŻUREK**

## **The use of EGNOS system for air navigation in eastern Poland**

### **Key words**

GNSS, EGNOS, SBAS, air navigation.

### **Summary**

The paper presents results of the research concerning the 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 centimetre accuracy. The reference position was compared with data logged by two navigation receivers, Thales MobileMapper, working in autonomous and EGNOS mode. As a result of the studies, it turned out that EGNOS do not provide requirements for SBAS (Satellite Based Augmentation Service) operations in this area.