

APARATURA

BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Wykorzystanie systemu EGNOS w monitoringu statków powietrznych w aspekcie uruchomienia serwisu Safety-Of-Life

GRZEGORZ GRUNWALD¹, ADAM CIEĆKO¹, STANISŁAW OSZCZAK¹, RAFAŁ KAŻMIERCZAK¹,
MAREK GRZEGORZEWSKI², JANUSZ ĆWIKLAK²

¹ UNIWERSYTET WARMIŃSKO-MAZURSKI W OLSZTYNIE, WYDZIAŁ GEODEZJI I GOSPODARKI PRZESTRZENNEJ, KATEDRA GEODEZJI SATELITARNEJ I NAWIGACJI

² WYŻSZA SZKOŁA OFICERSKA SIŁ POWIETRZNYCH W DĘBLINIE, WYDZIAŁ LOTNICTWA

STRESZCZENIE

Artykuł zawiera krótką charakterystykę satelitarnego systemu EGNOS oraz jednego z jego serwisów – Safety-of-Life. Ponadto przedstawiono wyniki badań dokładności systemu EGNOS w oparciu o loty testowe, które odbyły się w Dęblinie i Chełmie w 2010 roku. Do badań wykorzystano satelitarne odbiorniki nawigacyjne Thales MobileMapper oraz geodezyjne Topcon HiperPro i Javad Alpha.

The application of EGNOS system in aircrafts monitoring referred to Safety-of-Life service activation

ABSTRACT

The paper contains short characteristic of satellite system – EGNOS and one of its services – Safety-of-Life. Additionally, are presented the results of EGNOS accuracy research based on experimental flights, which were performed in Dęblin and Chełm in 2010. Satellite navigation receivers – Thales MobileMapper, and geodetic receivers Topcon HiperPro and Javad Alpha were used for experiments.

1. WSTĘP

Wykorzystanie nawigacji satelitarnej w lotnictwie z każdym dniem staje się coraz bardziej popularne. Dzięki nowoczesnym technologiom możliwe jest nawigowanie, pozycjonowanie oraz monitoring statków powietrznych. Wykorzystanie tego typu rozwiązań w lotnictwie wiąże się z dużo mniejszymi nakładami finansowymi niż zastosowanie klasycznych instrumentów nawigacyjnych. Dnia 2 marca 2011 roku oficjalnie został otwarty Serwis Bezpieczeństwa Życia (Safety-of-Life) wchodzący w skład systemu EGNOS. Dnia 14.03.2011 roku w Porcie Lotniczym Katowice po raz pierwszy w Polsce samolot podszedł do lądowania przy pomocy nawigacji satelitarnej. Ponadto Prezes Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej oświadczył, że satelitarna nawigacja statków powietrznych wykorzystująca system GPS, będzie stawała się coraz bardziej powszechna w naszym kraju [1, 2].

2. WYKORZYSTANIE EGNOS W LOTNICTWIE

System EGNOS należy do SBAS (Satellite Based Augmentation System). Jego zadaniem jest wspieranie systemów GNSS (Global Navigation Satellite Systems) poprzez:

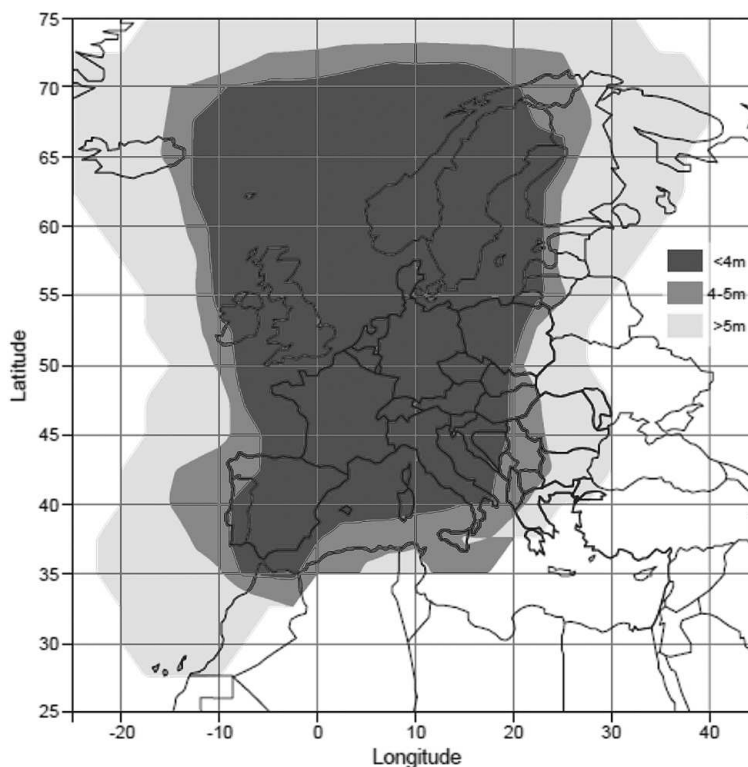
- poprawę dokładności pozycjonowania,
- dostarczanie informacji o wiarygodności transmitowanych do użytkownika danych,
- synchronizację czasu GPS z czasem UTC,
- poprawę dostępności dokładnego pozycjonowania.

EGNOS pełni funkcje systemu wspierającego Globalne Systemy Nawigacji Satelitarnej, będącego pod nadzorem ESA (European Space Agency) oraz EUROCONTROL. System ten transmituje poprawki różnicowe oraz informacje o awariach systemu GPS (Global Positioning System) poprzez 3 satelity geostacjonarne. Dzięki takiemu rozwiązaniu możliwe jest zwiększenie dokładności oraz wiarygodności pozycjonowania w czasie rzeczywistym. Na EGNOS składają się segmenty:

- kosmiczny (3 satelity geostacjonarne znajdujące się na orbitach 35 786 km nad powierzchnią Ziemi, zdolne do wysyłania poprawek do użytkowników znajdujących się na obszarze Europy),
- segment naziemny (około 40 stacji RIMS pomiarowo-observacyjnych zlokalizowanych na obszarze całej Europy),
- segment użytkowników [3, 4].



Rysunek 1. Stacje wchodzące w skład systemu EGNOS [5]



Rysunek 2. Zakładane dokładności pozycjonowania przy wykorzystaniu serwisu Sol [5]

3. SERWIS SAFETY-OF-LIFE

Serwisy EGNOS zostały pogrupowane według następujących działów:

- Open Service (OS) – charakteryzuje dokładność pozycjonowania,
- Safety-of-Life (SoL) – odnosi się do wiarygodności pozycjonowania,
- Commercial Data Distribution Service (CDDS) – wspiera transmitowanie dodatkowych danych wykorzystywanych przez węższe grono użytkowników. Jednak serwis ten nie jest wspierany przez satelity systemu EGNOS, lecz przez system EDAS (EGNOS Data Access System).

Serwis Safety-of-Life jest dostępny od 2 marca 2011 roku. W jego skład wchodzi sygnały mające na celu pozycjonowanie oraz synchronizację czasu. Serwis ten jest dostępny dla każdego użytkownika wyposażonego w odpowiedni do tego celu odbiornik oraz działającego na obszarze pokrycia przez serwis. Do lutego 2011 roku w pełni operacyjne w kontekście serwisu SoL były 2 satelity geostacjonarne (INMARSAT AOR-E – PRN 120 oraz ARTEMIS - PRN 124), natomiast trzeci satelita nadal posiadał status satelity testowego. Serwis Safety-of-Life jest zgodny z wymogami NPA (Non Precision Approach) oraz APV-I (Approach with Vertical Guidance). Rysunek 2 przedstawia teoretyczne dokładności pozycjonowania wertykalnego przy wykorzystaniu serwisu Safety-of-Life [5].

4. LOTY TESTOWE

W ramach niniejszej pracy przeprowadzono badania funkcjonowania systemu EGNOS przed uruchomieniem serwisu Safety-of-Life (lipiec oraz wrzesień 2010 roku). Planowane jest przeprowadzenie analogicznych analiz na podstawie eksperymentów przeprowadzonych po ogłoszeniu pełnej operacyjności serwisu SoL.

W celu wykonania badań działania systemu EGNOS w Polsce zorganizowano loty testowe 26.07.2010 roku w Dęblinie oraz 10.09.2010 roku w Chełmie. Do testów użyto precyzyjnych odbiorników geodezyjnych Topcon HiperPro i Javad Alpha oraz odbiorników nawigacyjnych Thales MobileMapper. Badano pracę sprzętu satelitarnego w czasie rzeczywistym oraz w trybie post-processing. Pozycjami odniesienia dla wyznaczonych współrzędnych trajektorii były pozycje obliczone w trybie post-processing w oparciu o obserwacje pochodzące z fizycznych oraz

wirtualnych stacji referencyjnych systemu ASG-EU-POS. Dzięki temu współrzędne punktów odniesienia, które zostały wyznaczone z centymetrową dokładnością, zostały przyjęte jako „prawdziwe” (na potrzeby eksperymentów). W celu zrealizowania tego zadania w kabinie pilota samolotu Cessna umieszczono odbiorniki Topcon HiperPro rejestrujące surowe dane obserwacyjne z interwałem równym 1s, które podano późniejszym opracowaniom, i na podstawie których otrzymano pozycje odniesienia.

4.1 Testy – Dęblin

W dniu 26.07.2010 roku na lotnisku należącym do Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych odbyły się 2 loty testowe samolotem Cessna 172 RG mające na celu badanie dokładności, wiarygodności oraz ciągłości działania systemów GNSS w monitoringu statków powietrznych. Do badań wykorzystano:

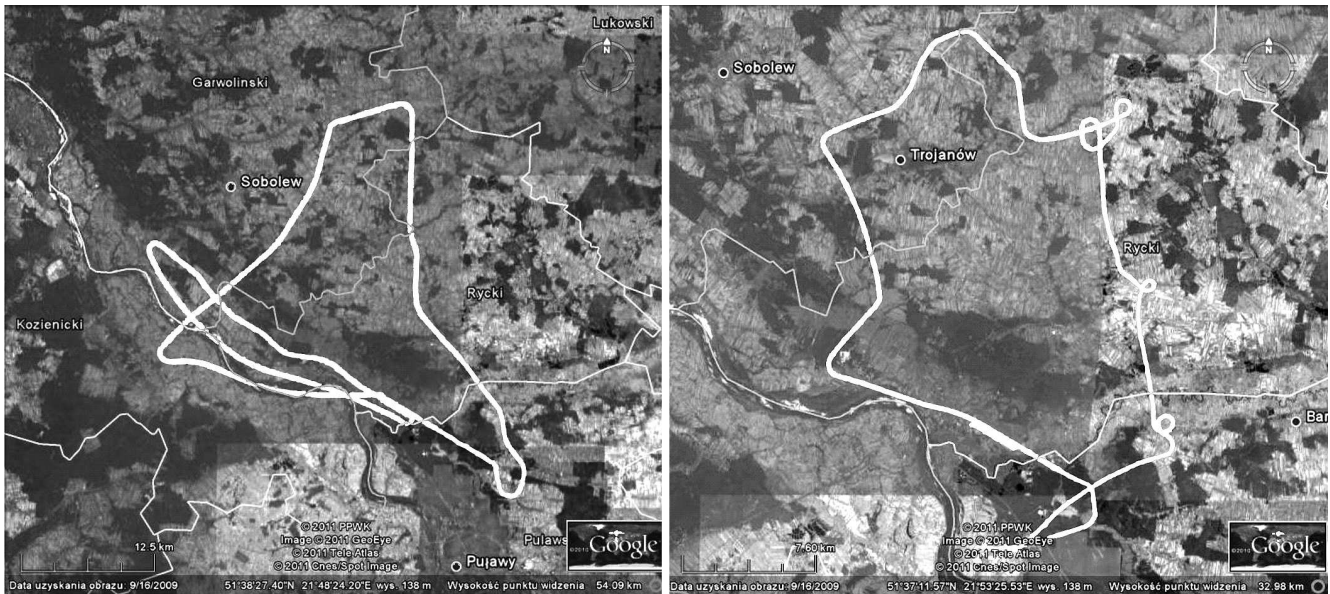
- odbiornik nawigacyjny Thales MobileMapper rejestrujący surowe obserwacje kodowe z interwałem 1s, w oparciu o które wyznaczono pozycje EGNOS w trybie post-processing,
- odbiornik nawigacyjny Thales MobileMapper wyznaczający pozycje w czasie rzeczywistym w trybie autonomicznym (interwał rejestracji danych 1s),
- odbiornik Topcon HiperPro rejestrujący surowe obserwacje z interwałem 1s, w oparciu o które wyznaczono pozycje EGNOS w trybie post-processing.

Rysunek 3 przedstawia zestaw odbiorników GNSS wykorzystanych do badań.

Lot 1 w okolicach lotniska w Dęblinie odbył się w godzinach 10:00 – 11:00 (czas GPS), natomiast lot 2 w godzinach 11:22 – 12:03 (czas GPS). Rysunek 4 zawiera zarejestrowane trajektorie lotów.



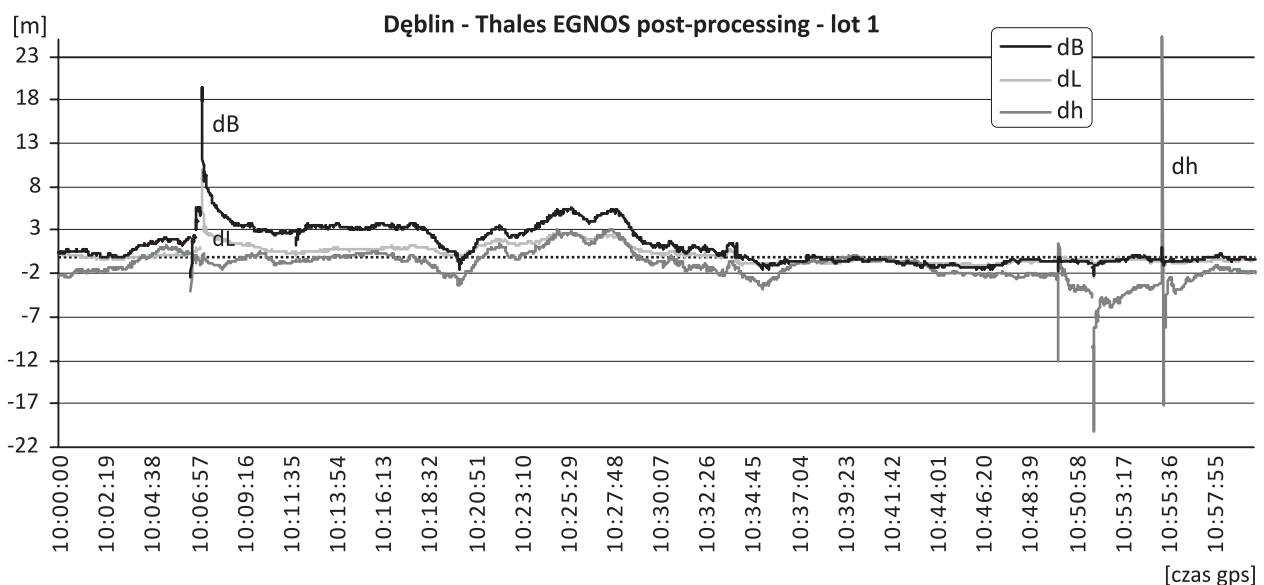
Rysunek 3. Odbiorniki Thales MobileMapper oraz Topcon HiperPro zamontowane w kabinie pilotów samolotu



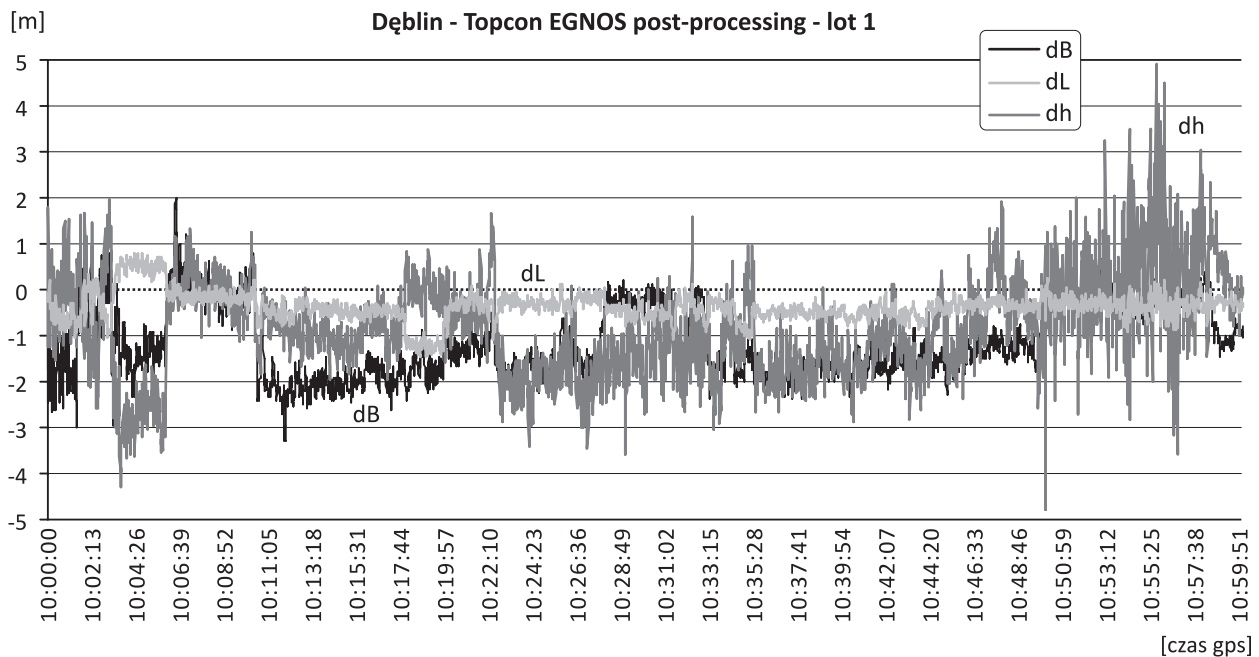
Rysunek 4. Trajektorie lotu samolotu podczas badań w okolicy lotniska w Dęblinie (lot 1 i lot 2)

Dane niezbędne do badań działania systemu EGNOS pozyskano korzystając z internetowego serwisu EMS (EGNOS Message Server) archiwizującego informacje, które transmitowane są z satelitów geostacjonarnych systemu EGNOS do użytkowników w czasie rzeczywistym. Dane te zawierają między innymi korekty (jonosferyczne, efemerydalne oraz zegarów satelitów) do satelitów systemu GPS niezbędne do wyznaczenia pozycji EGNOS w trybie post-processing. Obliczenia wykonano w oprogramowaniu typu „open source” – RTKlib 2.4.0 przy tej samej konfiguracji dla wszystkich obliczeń (maska elewacji - 15°). Dodatkowo zbadano dokładność pozycjonowania w czasie rzeczywistym w trybie autonomicznym. Otrzymane wyniki na podstawie lotu 1 oraz lotu 2 porównano z wyznaczonymi po-

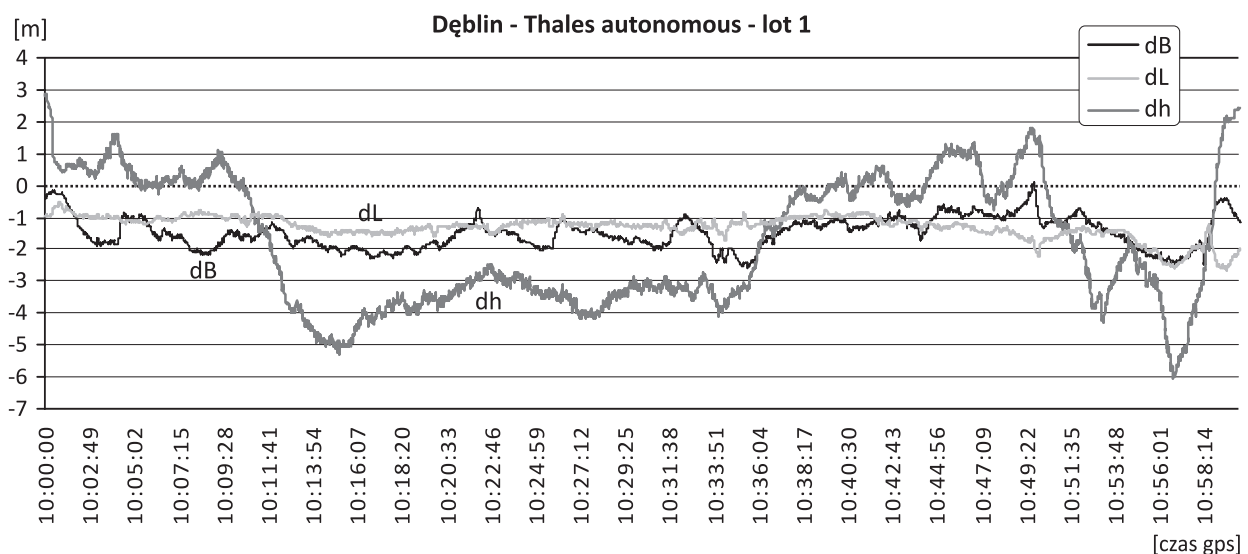
zycjami odniesienia, co przedstawiają Rysunki 5-10. Na podstawie powyższych zestawień z lotu 1 oraz lotu 2 można stwierdzić, iż wyniki otrzymane z testowania odbiornika nawigacyjnego Thales MobileMapper (dokładność pozycjonowania spada momentami do kilkunastu metrów) są gorsze od tych otrzymanych za pomocą odbiornika geodezyjnego Topcon HiperPro. Może to mieć związek z zastosowaniem różnych rozwiązań technologicznych odbiorników różnych klas. Należy zwrócić również uwagę na wyniki pozycjonowania autonomicznego w czasie rzeczywistym przy wykorzystaniu odbiornika Thales Mobile Mapper (dokładności horyzontalne porównywalne z otrzymanymi przy wykorzystaniu odbiornika Topcon HiperPro w trybie EGNOS post-processing).



Rysunek 5. Dokładność pozycjonowania przy wykorzystaniu EGNOS w trybie post-processing badania dla odbiornika Thales MobileMapper (lot 1, pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



Rysunek 6. Dokładność pozycjonowania przy wykorzystaniu EGNOS w trybie post-processing badana dla odbiornika Topcon HiperPro (lot 1, pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



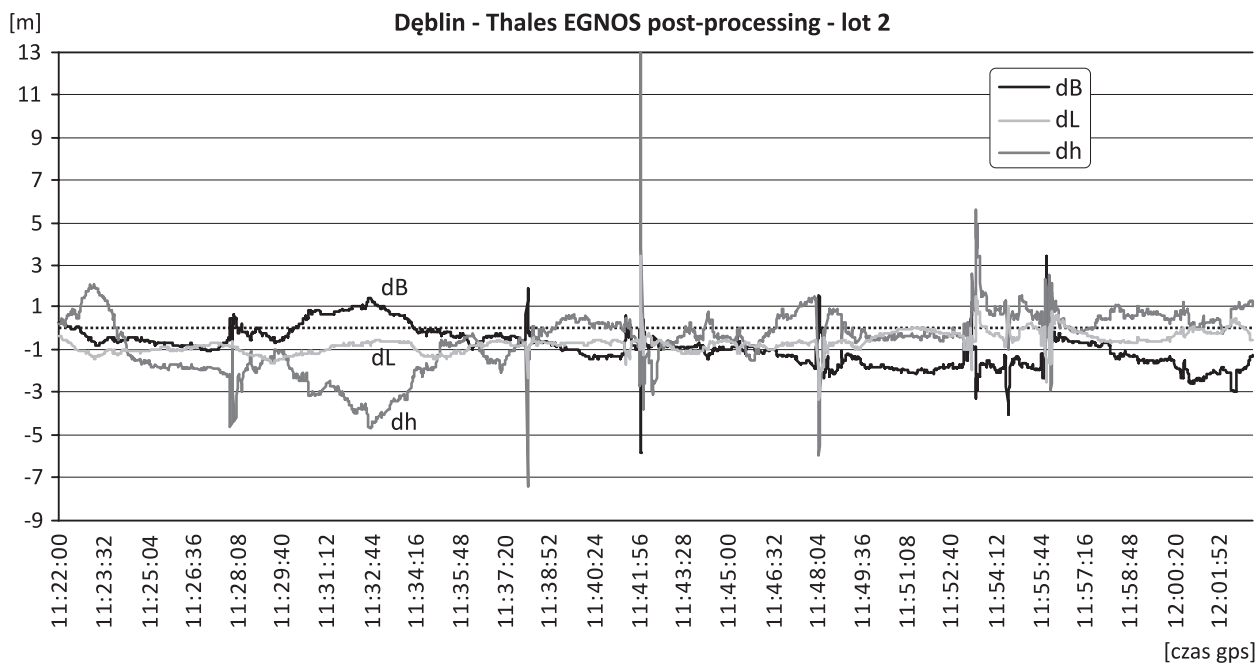
Rysunek 7. Dokładność pozycjonowania autonomicznego w czasie rzeczywistym badana dla odbiornika Thales MobileMapper (lot 1)

4.2 Testy – Chełm

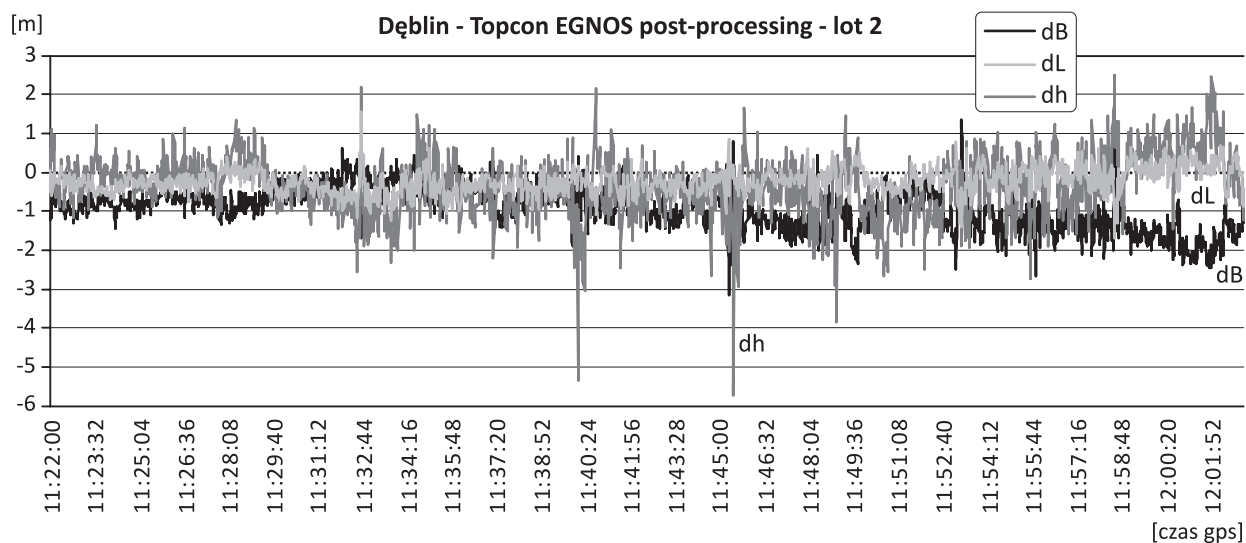
W dniu 10.09.2010 na terenie lotniska należącego do Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Chełmie odbył się eksperymentalny lot samolotem Cessna 152 II w godzinach 11:35 – 11:57 (czas GPS).

Zestaw pomiarowy zawierał:

- odbiornik nawigacyjny Thales MobileMapper wyznaczający pozycje w czasie rzeczywistym za pomocą systemu EGNOS, a zarazem rejestrujący surowe obserwacje kodowe z interwałem 1s, w oparciu o które wyznaczono pozycje EGNOS w trybie post-processing,
- odbiornik nawigacyjny Thales MobileMapper wyznaczający pozycje autonomiczne w czasie rzeczywistym z interwałem 1s,
- odbiornik geodezyjny Topcon HiperPro rejestrujący surowe obserwacje z interwałem 1s, w oparciu o które wyznaczono pozycje EGNOS w trybie post-processing,



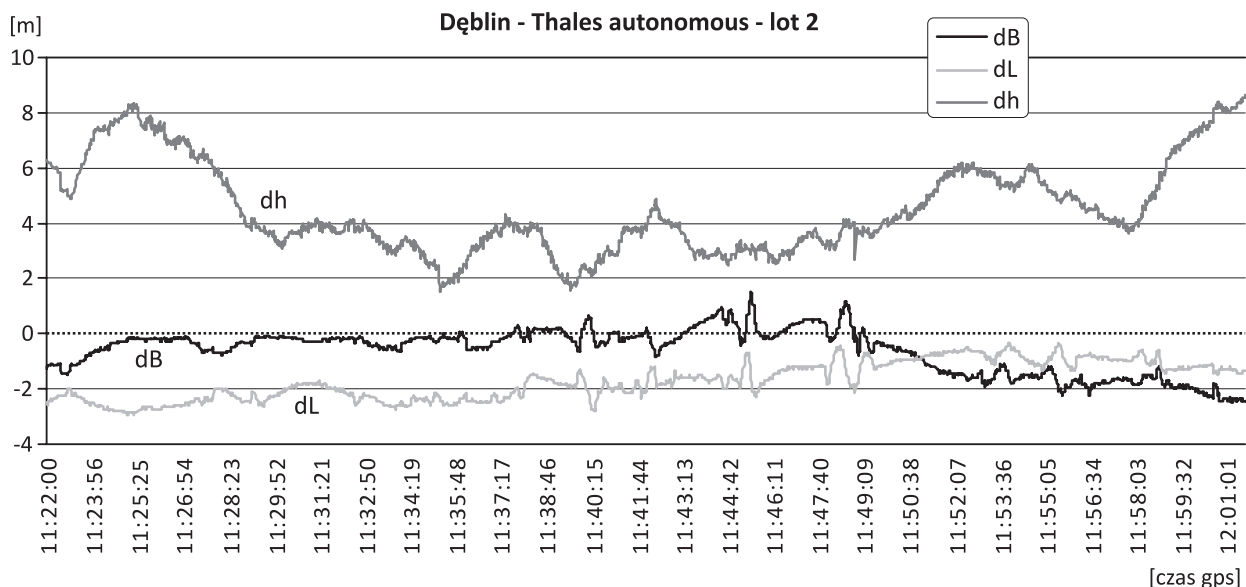
Rysunek 8. Dokładność pozycjonowania przy wykorzystaniu EGNOS w trybie post-processing badana dla odbiornika Thales MobileMapper (lot 2, pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



Rysunek 9. Dokładność pozycjonowania przy wykorzystaniu EGNOS w trybie post-processing badana dla odbiornika Topcon HiperPro (lot 2, pozycje z rozwiązaniem EGNOS)

– odbiornik geodezyjny Javad Alpha wyznaczający pozycje w czasie rzeczywistym korzystając z systemu EGNOS, a zarazem rejestrujący surowe obserwacje z interwałem 1s, w oparciu o które wyznaczono pozycje EGNOS w trybie post-processing. Rysunki 11 i 12 przedstawiają zamontowane odbiorniki GNSS w kabinie samolotu oraz zarejestrowaną trajektorię podczas lotu eksperymentalnego.

Do badania działania systemu EGNOS na podstawie lotu testowego w Chełmie wykorzystano pozycje wyznaczone zarówno w czasie rzeczywistym, jak i policzone w trybie post-processing. Do obliczeń analogicznie wykorzystano dane pochodzące z serwisu EMS oraz oprogramowanie RTKlib 2.4.0 przy tej samej konfiguracji dla wszystkich obliczeń (maska elewacji - 15°). Dodatkowo zbadano wyniki pozycjonowania w czasie rzeczywistym w trybie



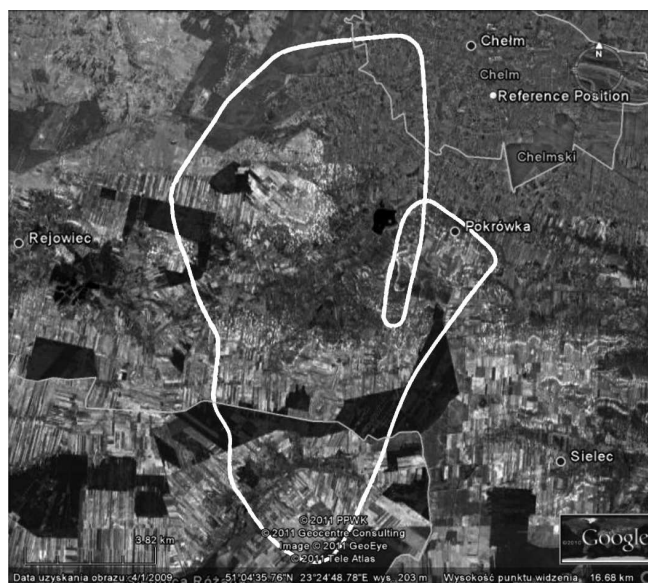
Rysunek 10. Dokładność pozycjonowania autonomicznego w czasie rzeczywistym badana dla odbiornika Thales MobileMapper (lot 2)

autonomicznym. Rysunki 13-18 przedstawiają rezultaty testów.

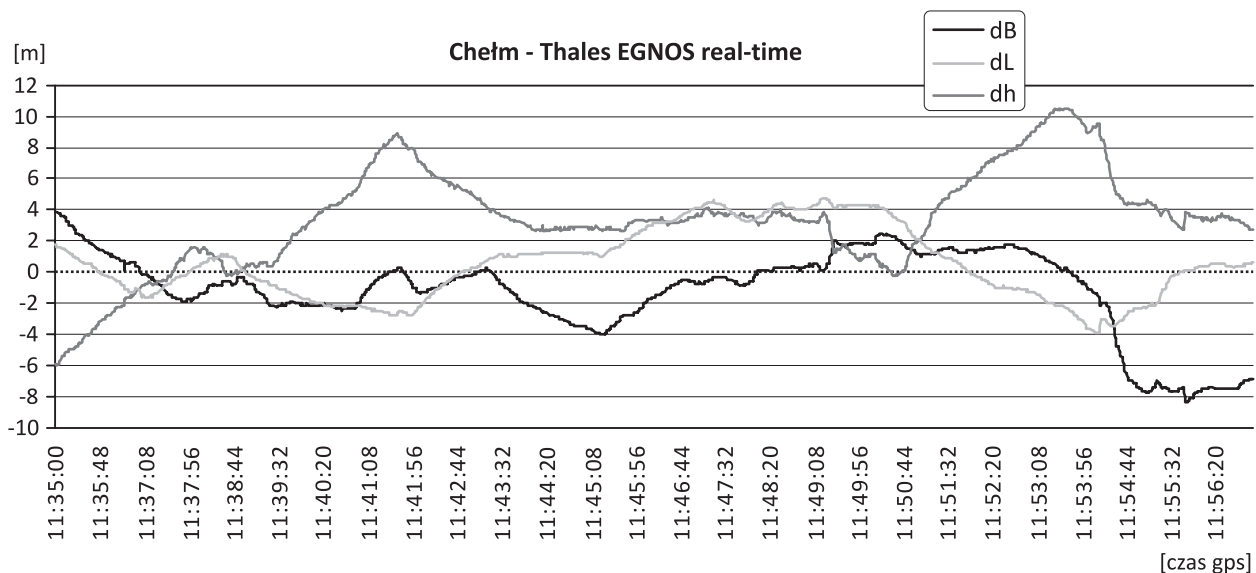
Na podstawie powyższych wykresów można stwierdzić, że najgorsze wyniki otrzymano wykorzystując odbiornik nawigacyjny Thales MobileMapper. Analizując zestawienie pozycjonowania EGNOS w trybie post-processing można zauważyć, iż większość surowych obserwacji zarejestrowanych przez odbiornik nie otrzymała poprawek do pseudoodległości o odpowiedniej jakości. Wyniki testu dla pozycjonowania EGNOS w czasie rzeczywistym charakteryzują się dostępnością serwisu przez cały lot, lecz charakterystyka dokładnościowa tego zestawienia wskazuje na wysokie błędy pozycjonowania (gorsze od pozycjonowania autonomicznego). Tego typu wyniki mogą mieć związek z brakiem stacji pomiarowo-obszernych - RIMS zlokalizowanych na wschód od Warszawy, w związku z czym do części satelitów śledzonych nad tym obszarem, nie są transmitowane poprawki do pseudoodległości. Wyniki testów wykonanych odbiornikami Topcon HiperPro oraz Javad Alpha (EGNOS czas rzeczywisty oraz EGNOS tryb post-processing) są znacznie lepsze od tych wykonanych odbiornikiem Thales Mobile Mapper, co może mieć związek z zastosowanymi efektywniejszymi rozwiązaniami technologicznymi wykorzystywanymi zarówno do rejestrowania surowych danych obserwacyjnych, jak i tych wykorzystywanych w algorytmach pozycjonowania w czasie rzeczywistym.



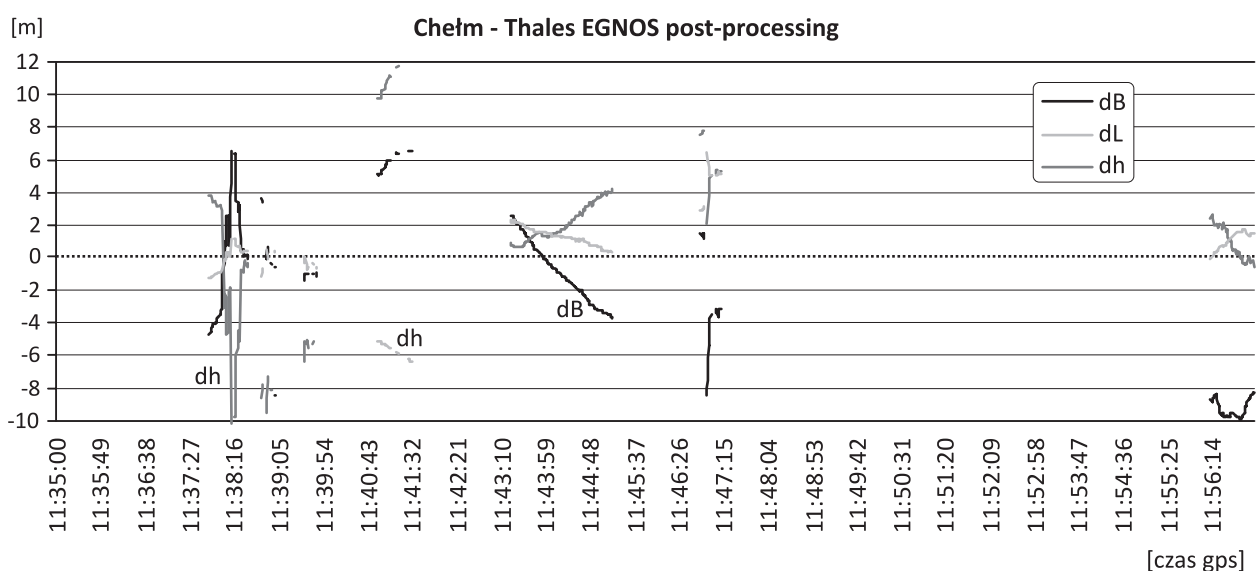
Rysunek 11. Odbiorniki Thales MobileMapper, Topcon HiperPro oraz Javad Alpha zamontowane w kabinie pilota samolotu



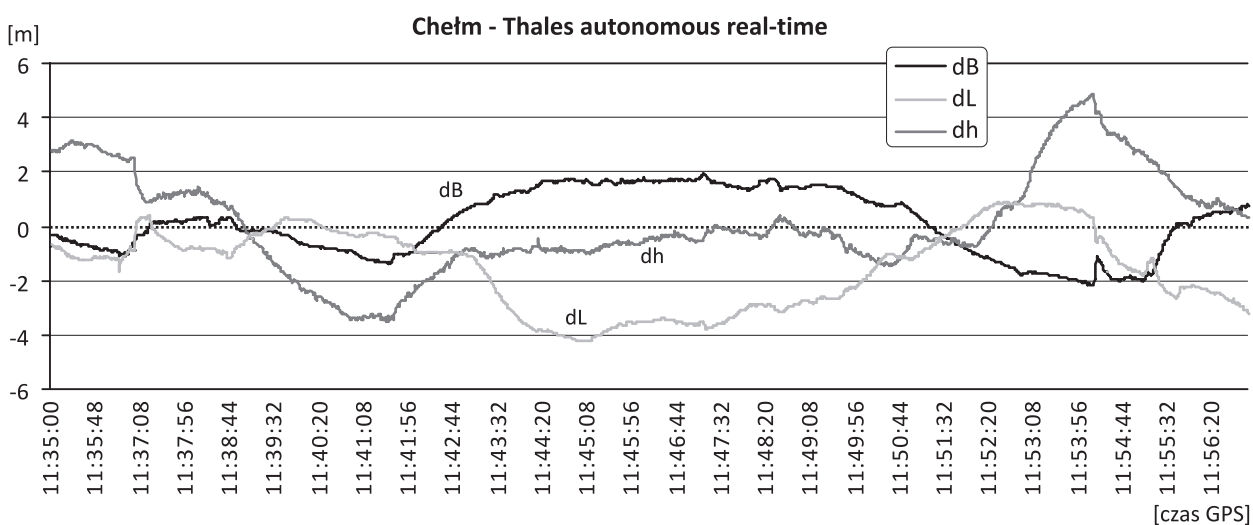
Rysunek 12. Trajektoria lotu samolotu podczas badań w okolicy lotniska w Chelmie



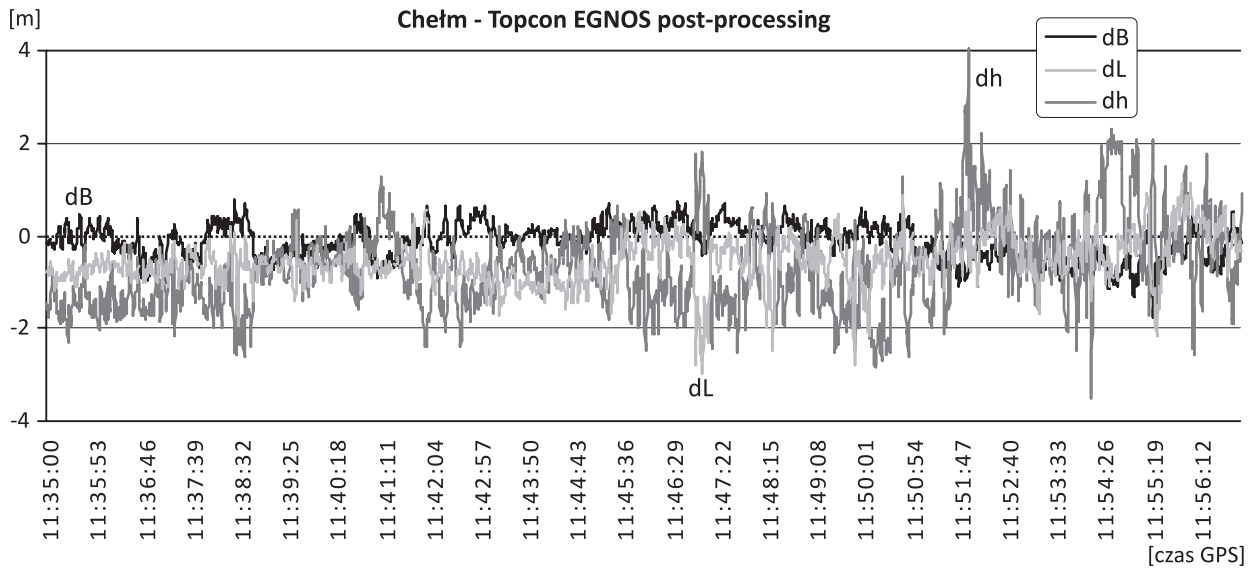
Rysunek 13. Dokładność pozycjonowania z wykorzystaniem EGNOS w czasie rzeczywistym badana dla odbiornika Thales MobileMapper (pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



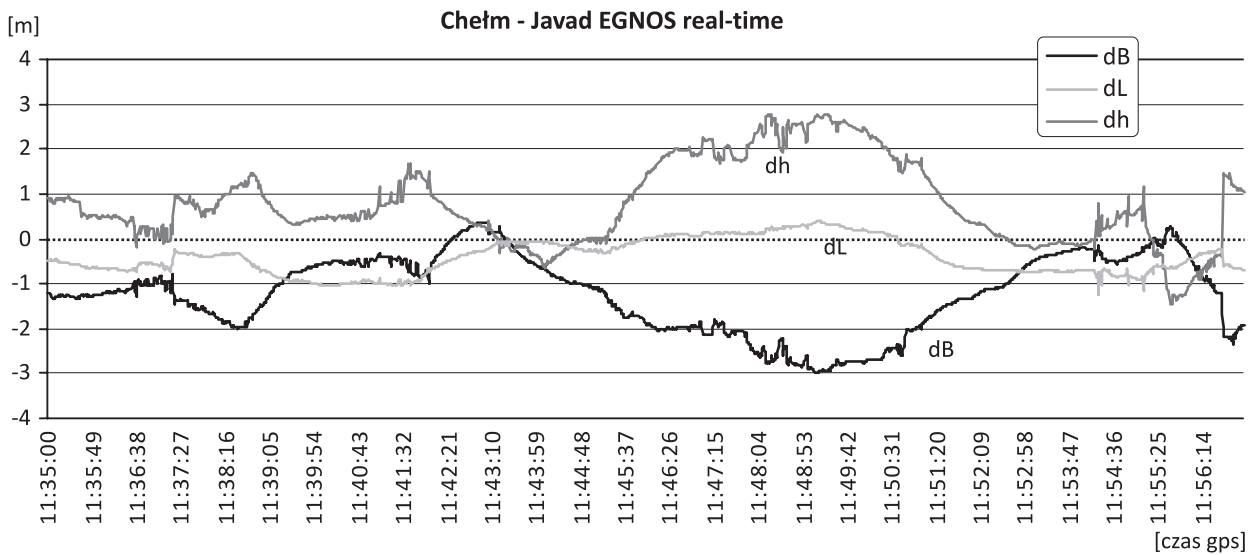
Rysunek 14. Dokładność pozycjonowania z wykorzystaniem EGNOS w trybie post-processing badana dla odbiornika Thales MobileMapper (pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



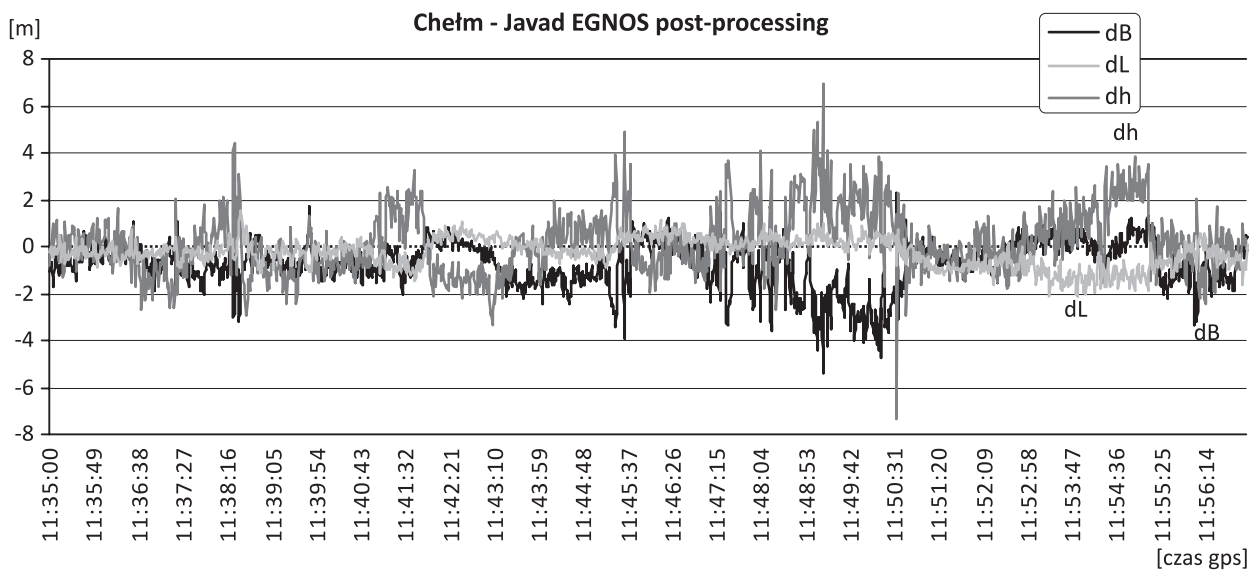
Rysunek 15. Dokładność pozycjonowania w czasie rzeczywistym w trybie autonomicznym badana dla odbiornika Thales MobileMapper



Rysunek 16. Dokładność pozycjonowania EGNOS w trybie post-processing badana dla odbiornika Topcon HiperPro (pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



Rysunek 17. Dokładność pozycjonowania EGNOS w czasie rzeczywistym badana dla odbiornika Javad Alpha (pozycje z rozwiązaniem EGNOS)



Rysunek 18. Dokładność pozycjonowania EGNOS w trybie post-processing badana dla odbiornika Javad Alpha (pozycje z rozwiązaniem EGNOS).

5. PODSUMOWANIE

Do badań wykorzystano odbiorniki różnych klas charakteryzujące się niejednakowymi parametrami technicznymi. Nie można jednoznacznie stwierdzić jakie algorytmy, filtry oraz inne rozwiązania technologiczne zostały zastosowane w danym sprzęcie, gdyż bardzo często tego typu informacje stanowią tajemnicę firmową. Dotyczy to zarówno pozycjonowania w czasie rzeczywistym, jak i rejestracji surowych danych obserwacyjnych.

Wyniki przeprowadzonych na potrzeby pracy badań charakteryzują się wieloma zastrzeżeniami dotyczą-

cymi działania systemu EGNOS. Szczególnie istotnym problemem są niskie dokładności pozycjonowania wysokościowego, które mają kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa lotów. Należy jednak zauważyć, że loty eksperymentalne z zastosowaniem EGNOS w Dęblinie i Chełmie (Polska południowo-wschodnia) odbyły się na granicy dostępności poprawnych korekt EGNOS (Rys. 2). Poza tym w czasie wykonywanych badań nie był uruchomiony serwis Safety-of-Life. W najbliższej przyszłości planuje się przeprowadzenie analogicznych testów i analiz, co pozwoli na porównanie dokładności EGNOS przed i po uruchomieniu SoL.

LITERATURA

- [1] http://www.esa.int/esaNA/SEM98MUTLKG_egnos_0.html (15.04.2011)
- [2] http://wyborcza.biz/biznes/1,100969,9251663,PAZP_prognozuje_upowszechnienie_satelitarnej_nawigacji.html
- [3] Allien A., Taillander C., Capo C., Proselov K., Legenne J., Marechal J., Jeannot M., User Guide For EGNOS Application Development, 2009, ESA, s.21-30.
- [4] Ciećko A., Oszczak S., Grzegorzewski M., Ćwiklak J.: Wyznaczenie pozycji statku powietrznego oraz dokładności z wykorzystaniem systemu EGNOS w Polsce wschodniej, Zakopane, TRANSCOMP – XIV INTERNATIONAL CONFERENCE, s. 2-7, 2010.
- [5] Safety of Life Service Definition Document, 2011, European Commission Directorate-General for Enterprise and Industry, s. 23-33.