

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Badania dokładnościowe systemu monitorowania ruchu statków powietrznych – analizy wstępne

ADAM CIEĆKO¹, GRZEGORZ GRUNWALD¹, STANISŁAW OSZCZAK¹, 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

W artykule zaprezentowano wstępne wyniki badań dotyczące dokładności oraz ciągłości powstającego w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie systemu monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów użytkowanych przez służby porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS. Prezentowane dane pochodzą z lotów testowych przeprowadzonych w roku 2010 na lotniskach w Dęblinie oraz Chełmie. Uzyskane rezultaty są dość optymistyczne, jednocześnie ujawniając drobne wady i niedociągnięcia, które powinny zostać wyeliminowane w trakcie dalszych prac związanych z budową systemu.

Accuracy tests of monitoring system for aircrafts – preliminary results

ABSTRACT

The article presents preliminary results of the research concerning determination of accuracy and continuity of the monitoring system for aircrafts and vehicles of public order services with the use of GNSS. System is currently under development at Air Force Academy in Deblin, Poland. Presented results are coming from the tests which were carried out in 2010 in Deblin and Chelm. Obtained conclusions are quite optimistic, however there are still some disadvantages which should be eliminated and cleared up during further work on the system.

1. WSTĘP

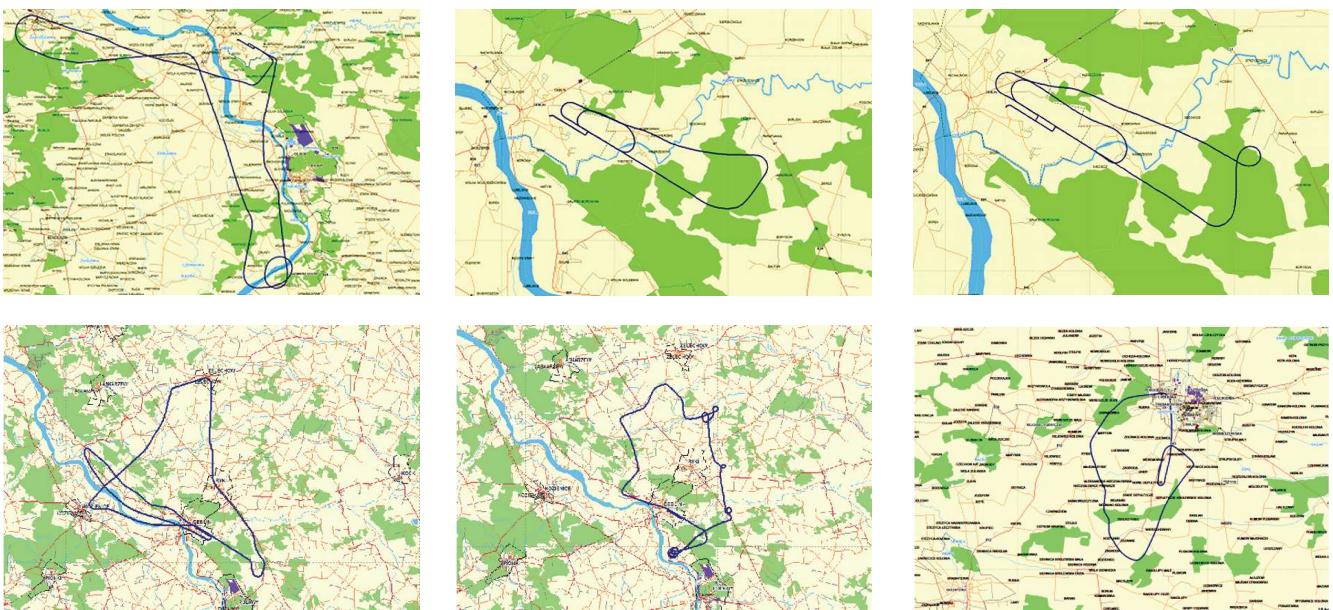
Systemy nawigacji satelitarnej są obecnie najbardziej nowoczesnym sposobem wyznaczania pozycji na świecie. Techniki te są dzisiaj powszechnie wykorzystywane zarówno w systemach nawigacyjnych jak i monitorujących. Nowoczesne systemy telekomunikacji umożliwią monitorowanie pozycji i ruchu pojazdów czy statków powietrznych, jak również pozwalają na dwustronną komunikację pomiędzy pojazdem/statkiem powietrznym i centrum monitorowania. Powstający w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie system monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS wykorzystuje najnowsze światowe rozwiązania technologiczne w dziedzinie nawigacji i monitoringu. W sytuacji kryzysowej operator centrum monitorującego widząc na ekranie monitora (na tle mapy numerycznej) aktualne pozycje poszczególnych pojazdów służb porządku publicznego może sprawnie i efektywnie koordynować akcją ratowniczą wykorzystując optymalnie wszystkie jednostki biorące udział w działaniach [1, 2]. W obecnej (2010/2011) fazie projektu główne założenia techniczne są wstępnie wdrożone, a prace skupione są na szczegółowych badaniach i analizach aktualnych rozwiązań oraz na poszukiwaniu ewentualnych ulepszeń istniejącego systemu.

2. OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA BADAŃ

Wykonane badania zostały przeprowadzone w ramach realizacji projektu badawczego dotyczącego budowy „Systemu monitorowania ruchu statków

powietrznych i pojazdów użytkowanych przez służby porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS”. Głównym celem badań było przetestowanie poprawności działania systemu monitorowania samolotów i pojazdów. Stroną techniczną systemu monitorowania zajmuje się w projekcie firma Samset z Warszawy, która ma bogate doświadczenie z zakresu bieżącego śledzenia i monitorowania pojazdów zarówno w trakcie normalnej eksploatacji, jak i w trakcie prób kradzieży. Firma Samset jest producentem zarówno autorskiego oprogramowania służącego monitorowaniu, jak i specjalistycznego urządzenia GNSS. Współpraca z przedsiębiorstwem produkującym systemy monitorujące, pozwala na profesjonalne modyfikacje istniejącego oprogramowania i urządzeń oraz dopasowanie aplikacji do wymagań budowanego systemu. Podczas prowadzonych badań szczególnie istotne było dokładne sprawdzenie łącza radiowego oraz wyznaczenie dokładności, ciągłości i dostępności tworzonego systemu. Podczas prac badawczych zarejestrowano trajektorie samolotu podczas testowych lotów, a pozyskane materiały posłużyły do analiz dokładnościowych budowanego systemu monitorowania ruchu statków powietrznych. Analizom poddano w sumie 6 niezależnych lotów wykonanych różnymi samolotami na lotniskach w Dęblinie oraz Chełmie w dniach:

- 01.06.2010 – Dęblin, 1 lot, samolot Cessna 172 RG,
 - 16.06.2010 – Dęblin, 2 loty, samolot Cessna 172 N,
 - 26.07.2010 – Dęblin, 2 loty, samolot Cessna 172 RG,
 - 10.09.2010 – Chełm, 1 lot, samolot Cessna 152 II.
- Wykorzystanie w pracach badawczych różnych typów samolotów na lotniskach w Dęblinie i Chełmie miało na celu przebadanie systemu w różnorodnych



Rysunek 1. Trajektorie sześciu lotów eksperymentalnych zarejestrowane podczas badań

warunkach, ustawieniach i konfiguracjach. Trajektorie analizowanych lotów na tle podkładu mapowego zaprezentowano na Rysunku 1.

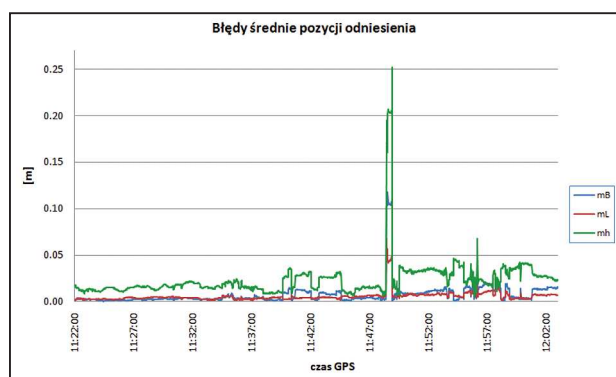
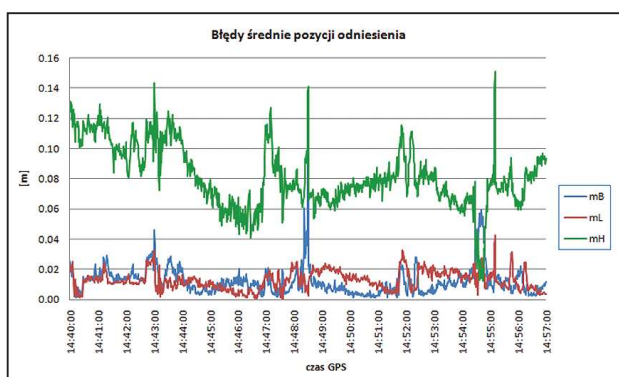
3. POZYCJA ODNIESIENIA SAMOLOTU

Po zarejestrowaniu surowych danych pomiarowych przystąpiono do szczegółowych analiz zarejestrowanego materiału badawczego. Pierwszym etapem obliczeń, w celu określenia dokładności wyznaczenia pozycji statku powietrznego za pomocą odbiornika GNSS firmy Samset było wyznaczenie dokładnej i wiarygodnej – pozycji odniesienia („prawdziwej”) samolotu. Pozycję taką dla każdej sekundy lotu wyliczono jako średnią arytmetyczną z trzech niezależnych wy-

VirA, VirB. Trzy autonomiczne pozycje OTF umożliwiły wyznaczenie błędu średniego uśrednionej pozycji dla każdej sekundy lotu. Błędy średnie policzono oddzielnie dla każdej współrzędnej B, L, h (wys. elipsoidalna) przy użyciu następujących wzorów:

$$m_B = \sqrt{\frac{\sum (B_{sr} - B_i)^2}{n-1}} \quad m_L = \sqrt{\frac{\sum (L_{sr} - L_i)^2}{n-1}} \quad m_h = \sqrt{\frac{\sum (h_{sr} - h_i)^2}{n-1}}$$

Średnie błędy współrzędnych B, L, h dla pozycji odniesienia samolotu wyniosły średnio kilka centymetrów dla współrzędnych horyzontalnych oraz kilka-kilkaście centymetrów dla współrzędnej wertykalnej. Uzyskane przykładowe rezultaty na każdą sekundę lotu prezentuje Rysunek 2.



Rysunek 2. Przykładowe błędy średnie pozycji odniesienia

znaczeń OTF (On-the-Fly) w trybie post-processing [3, 4]. W tym celu wykorzystano dane zarejestrowane przez odbiornik geodezyjny firmy Topcon HiPerPro, który rejestrował surowe pomiary satelitarne z interwałem 1 sekundy. Odbiornik geodezyjny w każdym z lotów testowych umieszczano na pokładzie samolotu Cessna w możliwie najbardziej odsłoniętym miejscu, czyli na kokpicie za szybą. Naziemnymi stacjami referencyjnymi były w rozpatrywanych lotach 3 punkty rozmieszczone równomiernie wzdłuż tras lotów: Ref1, VirA, VirB. Przy czym stacja Ref1 była stacją fizyczną umieszczoną na lotnisku, na której pracował odbiornik geodezyjny firmy Topcon HiPerPro, natomiast stacje VirA oraz VirB były wirtualnymi punktami, których obserwacje wygenerowano w serwisie POZGEO-D, systemu ASG-EUPOS. Dane wszystkich stacji bazowych zapisano z interwałem 1 sekundy. Precyzyjne współrzędne punktów referencyjnych (wyznaczone z dokładnością centymetrową) wykorzystano do dalszych obliczeń, których dokonano przy użyciu programu AOSS v.2.0 (Ashtech Office Suite for Survey), wyznaczając pozycję samolotu dla każdej epoki lotu w trybie OTF (On-the-Fly), w odniesieniu do trzech niezależnych stacji bazowych – Ref1,

4. WYZNACZENIE DOKŁADNOŚCI SYTEMU MONITOROWANIA

Mając obliczone dokładne pozycje samolotu (dokładność centymetrowa) na każdą sekundę lotu możliwe było określenie dokładności systemu monitoringu Samset zainstalowanego na pokładzie samolotów Cessna. Testom poddano system Samset zainstalowany na trzech różnych samolotach, w różnych konfiguracjach i z różnorodnym umiejscowieniem anteny GNSS oraz anteny radiomodemu.

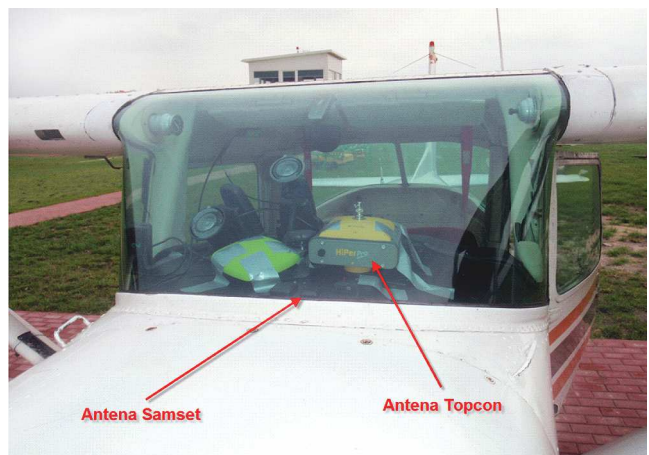
W przypadku lotów w Dęblinie odbiorniki GNSS firmy Samset podczas testów pracowały w trybie różnicowym DGNSS, odbierając poprawki z lokalnej stacji referencyjnej zlokalizowanej na terenie Szkoły Orłąt w Dęblinie. Poprawki były przesyłane drogą radiową za pomocą łącza UHF, z wykorzystaniem radiomodemu firmy Satel. Szczegółowe dane dotyczące trajektorii lotu samolotu zarejestrowane zostały na serwerze systemu dyspozytorskiego. System dyspozytorski do celów testowych zainstalowany został na terenie Wydziału Lotnictwa WSOSP w Dęblinie. Docelowo system dyspozytorski (stacjonarny lub

mobilny) będzie znajdował się w siedzibach służb porządku publicznego, na stanowiskach kierowania poszczególnych służb oraz w centrum dowodzenia akcją ratowniczą (centrum kryzysowe gminy, powiatu, itp.). Anteny GNSS systemu monitorującego w samolotach Cessna 172 RG oraz Cessna 172 N zostały zamontowane na stałe i umiejscowione są w tylnej części kadłuba. Przed bezpośrednim porównaniem pozycji dane, ze względu na różne rozmieszczenie anten odbiorników GNSS, należało przeliczyć do wspólnego punktu odniesienia. Odległość pomiędzy antenami GNSS systemu Samset, a anteną geodezyjną Topcon była stała dla danego statku powietrznego i wynosiła 2,90 metra dla Cessny 172RG oraz 2,40 metra dla Cessny 172N. Rozmieszczenie anten GNSS zaprezentowano na Rysunku 3.



Rysunek 3. Rozmieszczenie anten GNSS podczas lotów testowych

Podczas badań w Chełmie, odbiornik GNSS firmy Samset pracował w trybie autonomicznym – nie odbierał poprawek ze stacji referencyjnej. Szczegółowe dane dotyczące trajektorii lotu samolotu zarejestrowane zostały na serwerze systemu dyspozytorskiego. „Przenośny” system dyspozytorski do celów testowych został założony w hangarze lotniczym Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Chełmie. Ze względu na ograniczony czas nie uruchomiono opcji wysyłania poprawek DGNS przez odbiornik bazy. Antenę radiową systemu dyspozytorskiego umożliwiającą łączność z jednostką ruchomą umieszczono na dachu hangaru. Czas potrzebny na uruchomienie przenośnego centrum dyspozytorskiego wyniósł ok. 2-3 godzin. Samolot Cessna 152 II biorący udział w testach został wyposażony w jednostkę mobilnego systemu, której instalacja na pokładzie samolotu trwała ok. 2 godzin. Antena mobilnego systemu Samset oraz odbiornika geodezyjnego została umieszczona w tym samym miejscu, za przednią szybą samolotu, co ułatwiło dalsze porównania – Rysunek 4. Po geodezyjnym ujednoczeniu współrzędnych systemu monitorującego oraz współrzędnych odniesienia dokonano porównania. W trakcie porównań okazało się,



Rysunek 4. Rozmieszczenie anten GNSS na pokładzie samolotu Cessna 152 II



Rysunek 5. Trajektoria lotu nr 1 z zaznaczonym fragmentem braku wyznaczonych współrzędnych (kolor biały) z systemu dyspozytorskiego firmy Samset

zasięgu łączy UHF. Przerwa ta wystąpiła na najdalej na północ wysuniętym fragmencie lotu 1 w dniu 26.07.2010 w Dęblinie. Fragment ten zaznaczono na Rysunku 5.

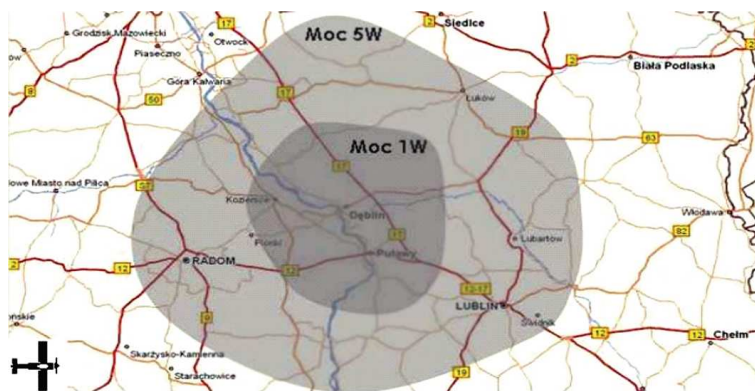
Oprócz epok, dla których system dyspozytorski nie zarejestrował współrzędnych samolotu zdarza się, że jedna pozycja (epoka) jest powtarzana kilkukrotnie – na Rysunku 6 przedstawiono przykładowy fragment porównania, w którym powtórzona aż sześciokrotnie, brak jest natomiast epok 14:17:21 – 14:17:25.

W Tabeli 1 zestawiono informacje dotyczące ilości epok zarejestrowanych przez system dyspozytorski systemu monitorowania.

Analizując dane z Tabeli 1 można zauważyć, że braki w wyznaczeniu pozycji przez system monitorujący sięgają ok. 50 %, a w lotach z dnia 26.07.2010 osiągnęły aż 63-65%. Przerwy w transmisji pozycji statku powietrznego trwają średnio kilka sekund, co skutkuje w skokowych zmianach pozycji samolotu na ekranie systemu dyspozytorskiego. Biorąc pod uwagę prędkość samolotu, trwające kilka – kilkanaście sekund braki w pozycjo-

nowaniu podczas sytuacji kryzysowej mogą znacznie utrudniać koordynację i zarządzanie akcją ratunkową. Znalezienie rozwiązania tego problemu jest przedmiotem dalszych prac badawczych związanych z budową systemu.

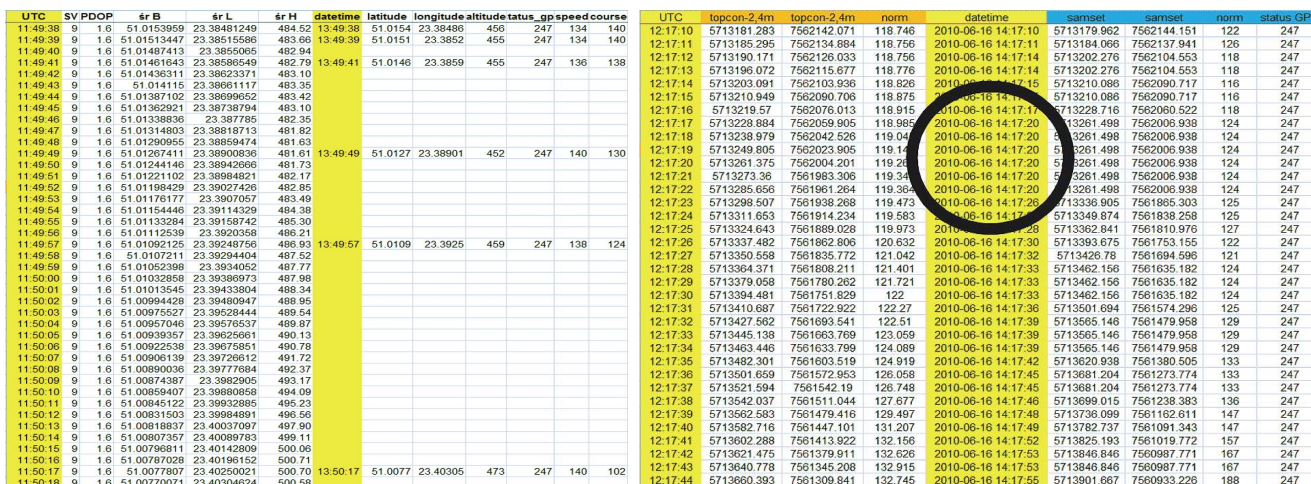
Przy instalacji systemu należy wykonać szczegółowe analizy zasięgu pracy systemu dla danej lokalizacji. Dla obecnie funkcjonującego systemu w Dęblinie przybliżony zasięg działania przedstawiono na Rysunku 7 [1].



Rysunek 7. Zasięg transmisji danych w relacji samolot-stacja naziemna, moc 1 i 5 W

Tabela 1. Liczba epok zarejestrowana przez moduł dyspozytorski systemu monitorowania

Data	Miejsce	Całkowita liczba epok w trakcie lotu	Liczba epok z wyznaczoną pozycją		Liczba epok bez wyznaczonej pozycji	
			wartość liczbowa	wartość procentowa	wartość liczbowa	wartość procentowa
01.06.2010	Dęblin	2400	1070	45%	1330	55%
16.06.2010	Dęblin – 1	771	406	53%	365	47%
16.06.2011	Dęblin – 2	1019	600	59%	419	41%
26.07.2010	Dęblin – 1	3598	1273	35%	2325	65%
26.07.2010	Dęblin – 2	2461	913	37%	1548	63%
10.09.2010	Chełm	1295	581	45%	714	55%



Rysunek 6. Przykładowe fragmenty porównań – braki epok pomiarowych oraz powtarzające się epoki pomiarowe

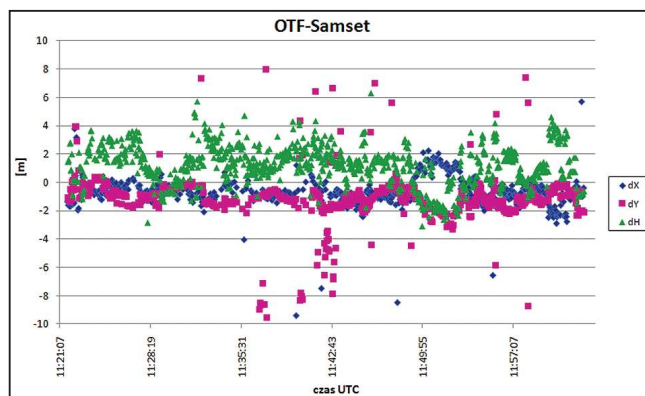
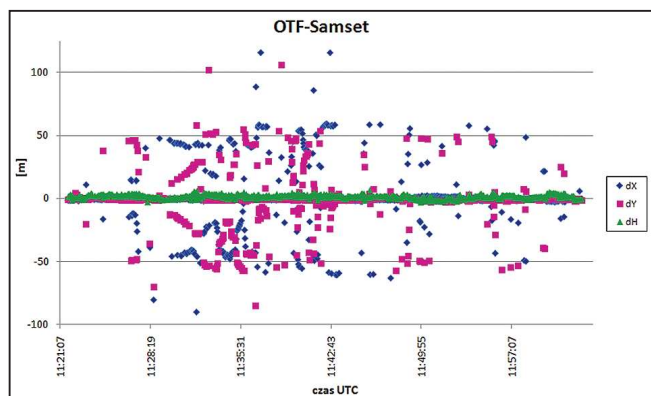
Analizując dokładność wyznaczenia pozycji przez system monitorowania okazało się, że w trakcie eksperymentów dla niektórych epok pomiarowych czas został błędnie przypisany. Wprawdzie błąd czasu w znacznej większości tych przypadków wynosił tylko 1 sekundę, ale w przypadku samolotu daje to błąd horyzontalny w granicach 20-60 metrów. W kilku przypadkach błąd ten wyniósł 2 sekundy, co przełożyło się na błąd pozycji wynoszący ok. 100 m. Przesunięcia czasowe podczas lotów w dniach 01.06.2010, 16.06.2010 oraz 10.09.2010 dotyczyły kilkunastu epok pomiarowych, natomiast podczas lotu nr 1 w dniu 27.07.2010 epok z błędnie przypisanym czasem było aż 500, czyli ok. 39%! Obecnie trwają prace nad wyeliminowaniem tego problemu z systemu monitorowania.

Uzyskane dokładności, w przypadku prawidłowego przypisania czasu do wyznaczonych współrzędnych są dość zadowalające i wynoszą dla rozwiązań DGNSS (loty w Dęblinie) ok 1-3 metrów dla współrzędnych poziomych oraz 2-5 metrów dla wysokości (Rys. 8). Szczególnie istotna dla zastosowań lotniczych jest wysoka dokładność oraz stabilność wyznaczenia

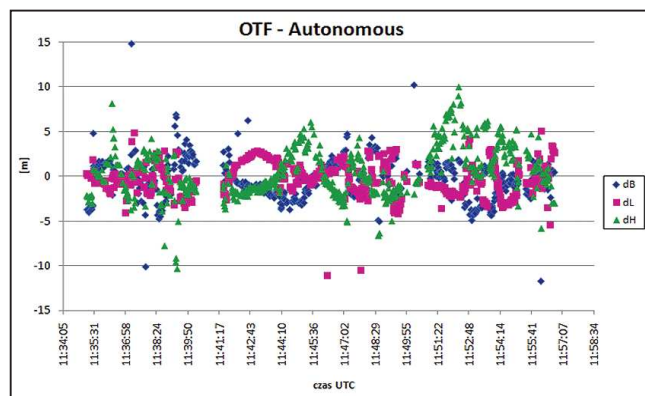
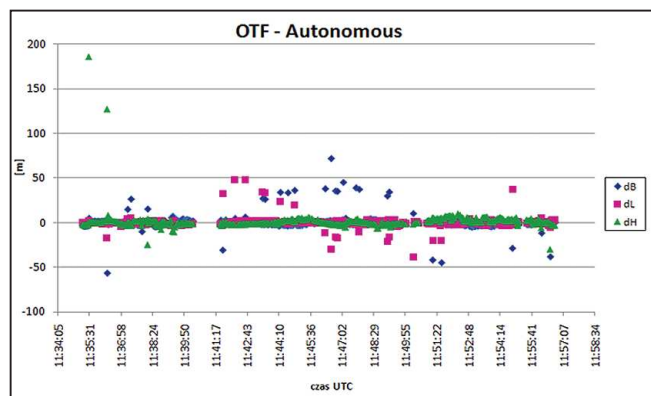
wysokości. Nieco gorsze wyniki uzyskano dla wyznaczeń autonomicznych (lot w Chełmie), ok 2-5 metrów dla współrzędnych poziomych oraz 2-10 metrów dla wysokości (Rys. 9).

5. WNIOSKI

Budowany system monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS jest wdrożony w wersji testowej w Wyższej Szkole Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie. Wykonane w roku 2010 loty testowe pozwoliły na wstępną ocenę wdrożonych rozwiązań. Główne założenia techniczne systemu zostały osiągnięte i system pracuje prawidłowo, jednak szczegółowe analizy zarejestrowanych pomiarów testowych ujawniły pewne niedociągnięcia w przesyłaniu i rejestrowaniu danych. Dotyczy to głównie przerw w przesyłaniu aktualnych pozycji samolotu, oraz błędnie przypisanego czasu do niektórych epok pomiarowych. Uzyskane dokładności systemu są zadowalające, szczególnie dla rozwiązań różnicowych (DGNSS) uzyskano dokładne i stabilne



Rysunek 8. Przykładowy wykres obrazujący różnicę między pozycją odniesienia, a różnicową (DGNSS) pozycją systemu Samset (26.07.2010 – Dęblin)



Rysunek 9. Wykres obrazujący różnicę między pozycją odniesienia, a autonomiczną pozycją systemu Samset (10.09.2010 – Chełm)

rozwiązania składowej wysokościowej, tak ważnej podczas wykonywania lotów. Dalsze prace nad rozwojem systemu są skupione przede wszystkim na rozwiązaniu zaistniałych problemów opisanych w niniejszym artykule.

LITERATURA

- [1] Ćwiklak J., (2010) – *Monitorowanie ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS cz. I*, Logistyka – Czasopismo dla profesjonalistów, Nr 6/2010, CD-ROM paper, pp. 647-657.
- [2] Jafernik H., Oszczak S., Grzegorzewski M., Ćwiklak J., Waszczeniuk G., Ciećko A., (2010) - *Wykorzystanie techniki satelitarnej do kontroli ruchu lotniczego i ruchu pojazdów na lotnisku*, Konferencja Naukowa „W przyszłość z lotniczą wiedzą i doświadczeniem – 85 lat Dęblińskiej Szkoły Orłąt”, 17-18. 06. 2010.
- [3] Ciećko A., Oszczak S., Grzegorzewski M., Ćwiklak J., (2011) – *Nawigacja lotnicza z wykorzystaniem systemu EGNOS w Polsce wschodniej*, Drogi – lądowe, powietrzne, wodne – czasopismo specjalistyczne, Nr 2/2011 (33), pp. 46-51.
- [4] Grunwald G., Ciećko A., Oszczak S., (2010) – *Wykorzystanie serwisów systemu ASG-EUPOS do wyznaczenia trajektorii lotu samolotu* – Logistyka – Czasopismo dla profesjonalistów, Nr 6/2010, CD ROM paper, pp. 1039-1048.