

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Serwisy nawigacyjne systemu ASG-EUPOS – wady i zalety wykorzystania w systemie monitorowania

ADAM CIEĆKO¹, RAFAŁ KAŹMIERCZAK¹, GRZEGORZ GRUNWALD¹, STANISŁAW OSZCZAK¹,
MAREK GRZEGORZEWSKI², JANUSZ ĆWIKLAK²

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

²WYŻSZA SZKOŁA OFICERSKA SIŁ POWIETRZNYCH W DĘBLINIE, WYDZIAŁ LOTNICTWA

STRESZCZENIE

W codziennym życiu każdego człowieka istotną rolę stanowi wiedza o lokalizacji. Systemy satelitarne pomagają nam w określeniu pozycji. Wykorzystanie w podróży najprostszego odbiornika GNSS zwiększa na trasie poczucie pewności i bezpieczeństwa. Coraz częściej potrzebna nam jest informacja o pozycji z dokładnością decymetrową, którą teoretycznie zapewnia nam metoda DGNSS. Najważniejszym zadaniem nawigacji jest efektywne i bezpieczne dotarcie do celu. Podniesienie tak ważnego elementu jakim jest bezpieczeństwo (szczególnie w lotnictwie), zapewnia system monitorowania. Artykuł przedstawia analizy związane z możliwością wykorzystania serwisów nawigacyjnych ASG-EUPOS w lotnictwie i systemach monitorowania.

The navigation services of ASG-EUPOS system – advantages and disadvantages of using these services in monitoring system

ABSTRACT

Knowledge about location is very important in everyone's life. The satellite systems help us in calculation of position. Utilization of simple GNSS receiver increases self-confidence and safety. Today the need of information about the position with decimeter accuracy is often expected. This can be provided by DGNSS method. Effective and safe travel to target is the most important task in navigation. The monitoring system can effectively increase the safety (especially in aviation). The article describes analysis connected to possibility of application ASG-EUPOS navigation services in aviation and monitoring systems.

1. WSTĘP

Techniki satelitarne odgrywają istotną rolę w dzisiejszej gospodarce. Dużym krokiem w popularyzacji zastosowań technik GNSS było uruchomienie w Polsce w czerwcu 2008 roku systemu ASG-EUPOS. Od tego momentu popularność i rozwój zastosowań technik satelitarnych na terenie naszego kraju znacznie wzrosły. Wdrożenie systemu ułatwiło dostęp i zwiększyło zakres możliwości wykorzystania systemów satelitarnych w geodezji i nawigacji. Jedną z dziedzin w jakiej można wykorzystać system ASG-EUPOS jest lotnictwo. System w swojej ofercie udostępnia dwa serwisy wykorzystujące technikę DGNS.

Dynamiczny rozwój lotnictwa oraz stale rosnąca liczba osób zainteresowana transportem powietrznym skłania do badań nad poprawą bezpieczeństwa ruchu lotniczego. Związany z tym zadaniem jest obecnie budowany (w WSOSP w Dęblinie) system monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego. System składa się z trzech elementów: podsystemu pozycjonowania, podsystemu transmisji danych oraz zobrazowania danych. Aktualnie prowadzone są badania dotyczące dokładności pozycjonowania, zasięgu i ciągłości działania systemu monitorowania. Wykorzystanie techniki różnicowej GNSS (DGNS) zwiększa dokładność i wiarygodność wyznaczenia pozycji, a co za tym idzie zwiększa bezpieczeństwo. Uwzględniając szybko zmieniające się warunki pomiarowe w trakcie lotu, podjęto próby zbadania działania systemu ASG-EUPOS w nawigacji lotniczej. Na zmienne warunki obserwacyjne mają wpływ głównie zmiany prędkości, zmiany wysokości poruszającego się statku powietrznego i gwałtowne manewry.

2. ASG-EUPOS

ASG-EUPOS jest wielofunkcyjnym systemem precyzyjnego pozycjonowania satelitarnego. Jak sama nazwa wskazuje jest on częścią projektu EUPOS, który swoim zakresem obejmuje kraje Europy Środkowej i Wschodniej. Opiera się on na: 99 krajowych stacjach referencyjnych w tym 81 z modułem GPS, 18 z modułem GPS/GLONASS oraz 22 stacjach zagranicznych. Stacje te, rozmieszczone są równomiernie na terenie całego kraju. Oprócz stacji referencyjnych system tworzą dwa centra zarządzające (w Warszawie i Katowicach), które monitorują prawidłowe działanie systemu. System udostępnia różnicowe poprawki w czasie rzeczywistym oraz umożliwia wykonanie obliczeń w trybie post-processing. Poprawki i wyniki obliczeń udostępniane są przez Internet. Główne

założenia działania poszczególnych serwisów systemu ASG-EUPOS są zgodne ze standardami systemu EUPOS [1].

2.1. Serwisy czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS

Biorąc pod uwagę uzyskiwane w czasie rzeczywistym dokładności, które otrzymujemy w trakcie pomiaru, serwisy ASG-EUPOS można podzielić na różne typy. Podział ten uzależniony jest przede wszystkim od trybu pomiaru (RTK lub DGNS), w którym może działać odbiornik ruchomy wykorzystujący strumień danych z systemu. Pomiar odbiornika w trybie RTK umożliwia serwis NAWGEO, który polega na udostępnianiu niezbędnych danych GNSS do pracy odbiornika ruchomego w trybie RTK (*Real-Time Kinematic*). Strumień danych przesyłany jest protokołem NTRIP (w formacie RTCM), wymagającym od użytkownika autoryzacji poprzez podanie loginu i hasła. Proces wymiany danych odbywa się w czasie rzeczywistym dzięki połączeniu internetowemu GPRS. W przypadku serwisu NAWGEO odbiorniki wykonujące pomiary w terenie komunikują się z Centrum Obliczeniowym, w celu uzyskania korekt obserwacyjnych do pomiarów GNSS. NAWGEO umożliwia zwiększenie dokładności w pomiarach kinematycznych i statycznych. Serwis może być wykorzystany przez różnego rodzaju odbiorniki dzięki istnieniu kilku formatów poprawek. Przewagą serwisów sieciowych czasu rzeczywistego systemu ASG-EUPOS nad wykorzystaniem pojedynczej stacji referencyjnej jest sposób generowania poprawek. Dzięki sieciowym rozwiązaniom wykorzystanym w systemie lepiej wyznaczane są systematyczne błędy związane z pracą zegarów atomowych i orbitami satelitów oraz propagacją sygnału przez atmosferę. Kolejną zaletą rozwiązania sieciowego jest uniezależnienie się od wpływu odległości stacji referencyjnej na dokładność pomiaru. W przypadku wykorzystania pojedynczej stacji referencyjnej odległość jest ograniczona do ok. 30 km. Wzrost odległości pomiędzy odbiornikami przekłada się na zmniejszenie dokładności. W metodach sieciowych błędy są interpolowane, a odległości pomiędzy stacjami dochodzą do 80 km.

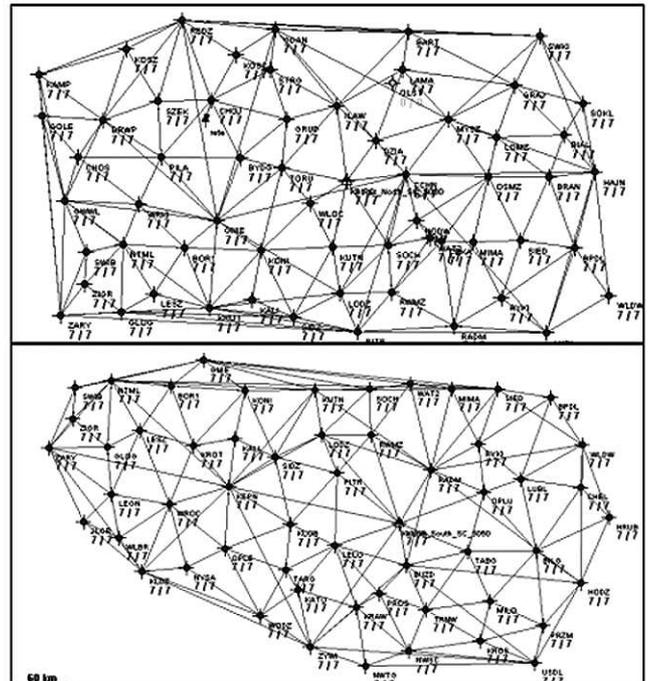
Drugim trybem pomiarowym, który może być użyty przy zastosowaniu strumienia danych z systemu jest DGNS. W systemie można wyróżnić dwa serwisy pomiarów różnicowych DGNS (ang. *Differential GNSS*). Są to KODGIS i NAWGIS.

W zależności od metody pomiarów (DGNS/RTK) oraz rodzaju sprzętu pomiarowego zakładane dokładności mieszczą się w zakresie od 0,03 do 3 m. W odróżnieniu od serwisów NAWGEO, które służą głównie

do zastosowań geodezyjnych, serwisy NAWGIS i KODGIS wykorzystywane są głównie w nawigacji i w pomiarach GIS. System ASG-EUPOS pozwala na uzyskanie podwyższonej dokładności pomiarów w trybie różnicowym DGNSS przy zastosowaniu odbiorników jednoczesnościowych. DGNSS polega na wykorzystaniu stacji referencyjnej do określenia błędów mierzonych pseudoodległości do satelitów i przestaniu ich w postaci poprawki do użytkownika systemu. Współrzędne anten stacji referencyjnych są precyzyjnie wyznaczone, zatem różnice pomiędzy zmierzoną pseudoodległością, a odległością rzeczywistą mogą zostać wyznaczone. System ASG-EUPOS oferuje dwa serwisy DGNSS: KODGIS i NAWGIS. Oba serwisy są bardzo zbliżone pod względem działania. Główne różnice opisano w rozdziale 2.2. [1-3].

2.2. Serwisy KODGIS i NAWGIS

Jedną z realizacji sieciowego DGNSS jest VRS (wirtualna stacja referencyjna). Polega ona na wysłaniu danych z wirtualnej stacji referencyjnej, która jest wyznaczana z danych pochodzących z sieci stacji fizycznych. Przewaga rozwiązania sieciowego nad pojedynczą stacją referencyjną została przytoczona wyżej. W celu wykorzystania tej techniki wymagana jest łączność z centrum obliczeniowym. W serwisie KODGIS informacja o położeniu odbiornika ruchomego przesyłana jest w formacie NMEA (National Marine Electronics Association). Korzystając z serwisu NAWGIS nie ma potrzeby dostarczania informacji do systemu o położeniu (eliminuje to konieczność posiadania łącza dwukierunkowego: odbiornik – centrum obliczeniowe i centrum obliczeniowe - odbiornik). Wynika to z innego sposobu wyznaczania poprawek do pseudoodległości. Serwis ten oparty jest o zasadę działania VRC (wirtualnej komórki referencyjnej). W tej odmianie sieciowego DGNSS poprawki do pseudoodległości wyznaczone są dla poszczególnych komórek wydzielonych w obszarze działania systemu. W

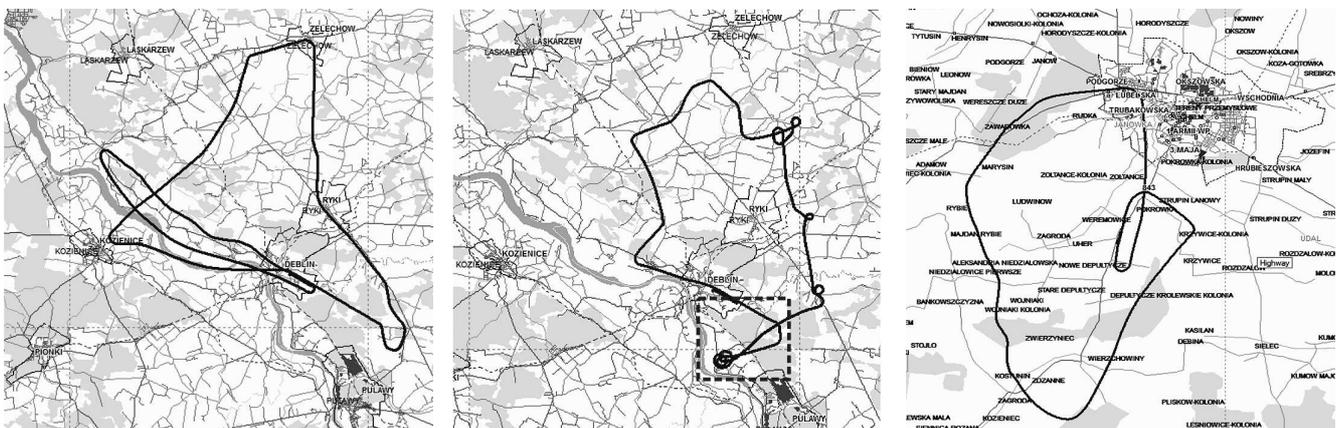


Rysunek 1. Sieci serwisu NAWGIS (północ i południe) systemu ASG-EUPOS realizowane w oprogramowaniu Trimble RTKNet [5,2]

celu otrzymania prawidłowych poprawek należy znać obszar, który obejmuje dana komórka. W systemie ASG-EUPOS można wyróżnić dwa serwisy NAWGIS północ i południe (Rys. 1). Spośród dwóch opisanych technik VRS i VRC lepsze dokładności można otrzymać wykorzystując pierwszą z nich.

3. EKSPERYMENTY LOTNICZE

W celu wykonania analiz dotyczących wykorzystania systemu ASG-EUPOS w lotnictwie wykonano loty testowe samolotem Cessna 172. Badania przeprowadzono w dwóch terminach na różnych obszarach (26.07.2010 Dęblin i 10.09.2010 Chełm). W ramach prowadzonych badań wykonano dwa loty w Dęblinie oraz jeden lot w Chełmie. We wszystkich przypadkach do badań wykorzystano odbiorniki GPS



Rysunek 2. Trajektoria lotu samolotu. Od lewej: lot pierwszy w Dęblinie, lot drugi w Dęblinie oraz lot w Chełmie

Thales MobileMapper oraz Topcon HiPerPro. Rysunki 2 i 3 przedstawiają trajektorie lotu samolotu oraz przykładowe rozmieszczenie odbiorników w samolocie.

W celu wykonania analiz przydatności serwisów nawigacyjnych ASG-EUPOS w lotnictwie potrzebna jest informacja o pozycji odniesienia - „prawdziwej” statku powietrznego. Pozycję taką wyznaczono na podstawie danych zarejestrowanych przez geodezyjny odbiornik Topcon HiPerPro. Dla każdej sekundy

lotu samolotu obliczono średnią arytmetyczną z trzech niezależnych wyznaczeń OTF w trybie post-processing. Jako stacje referencyjne posłużyły 3 punkty, których rozmieszczenie przedstawia Rysunek 4. Dla lotów w Dęblinie wszystkie 3 stacje były stacjami wirtualnymi, których dane wygenerowano w serwisie POZGEO-D, systemu ASG-EUPOS. W przypadku lotu w Chełmie dwie stacje były wirtualne i jedna fizyczna. Stację fizyczną stanowił odbiornik Topcon HiPerPro, który został rozstawiony na lotnisku w Chełmie. Wszystkie obliczenia wykonano w programie AOSS (Ashtech Office Suite for Survey). Średnie błędy pozycji odniesienia samolotu wyniosły ok. 1 centymetra dla współrzędnych horyzontalnych – B, L oraz ok. 2-3 centymetrów dla współrzędnej wertykalnej – h.

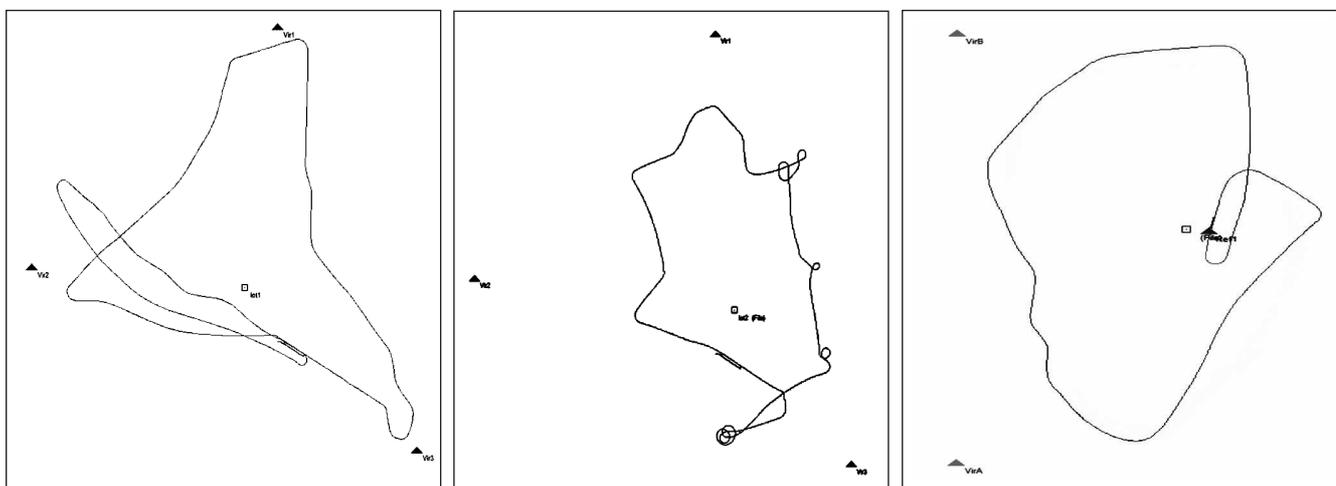
Dla wszystkich lotów testowych wymagane w systemie ASG-EUPOS połączenie GPRS zapewniał moduł GSM/GPRS/EDGE - IGTS-R (Rys. 3). Dwuzakresowy modem IGTS-R (900/1800 Mhz, 850/1900 Mhz) umożliwia odbiór poprawek różnicowych RTK lub DGPS:



Rysunek 3. Przykładowe rozmieszczenie odbiorników w samolocie Cessna oraz IGTS-R z odbiornikiem Thales MobileMapper

- ze stacjonarnej stacji bazowej wysyłającej korekty przez Internet,
- z przenośnej/terenowej stacji bazowej wysyłającej korekty przez GSM/GPRS/EDGE,
- z casterów Ntrip,
- z powierzchniowych systemów dystrybucji korekt (VRS, FKP).

Zarejestrowane dane przez odbiorniki Thales MobileMapper opracowano w oprogramowaniu MobileMapper Office. Po wyznaczeniu pozycji „prawdziwej” samolotu można przystąpić do charakterystyk związanych z serwisami ASG-EUPOS. W ramach realizacji projektu budowy „Systemu monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów użytkowanych przez służby porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS” realizowanego przez Wydział Lotnictwa WSOSP w Dęblinie wykonano dwa loty z wykorzystaniem serwisu KODGIS i NAWGIS północ. Pierwszy lot z wykorzystaniem serwisu KODGIS rozpoczął się o 10:00 i trwał do 11:00 czasu GPS. Drugi lot trwał od 11:22 do 12:03 czasu GPS. Bardzo ważną rolę w nawigacji odgrywa dostępność i ciągłość oferowanych serwisów. W przypadku pierwszego



Rysunek 4. Rozmieszczenie stacji referencyjnych. Od lewej: lot pierwszy w Dęblinie, lot drugi w Dęblinie oraz lot w Chełmie

lotu w trakcie opracowania danych okazało się, że w trakcie kołowania na pasie startowym modem za pośrednictwem którego dostarczane były poprawki DGPS zawiesił się. Przyczyny techniczne spowodowały, że w pozostałej części lotu została rejestrowana tylko pozycja autonomiczna. Wizualizację drugiego lotu w Dęblinie przedstawia Rysunek 5, na którym przedstawiono odpowiednio:

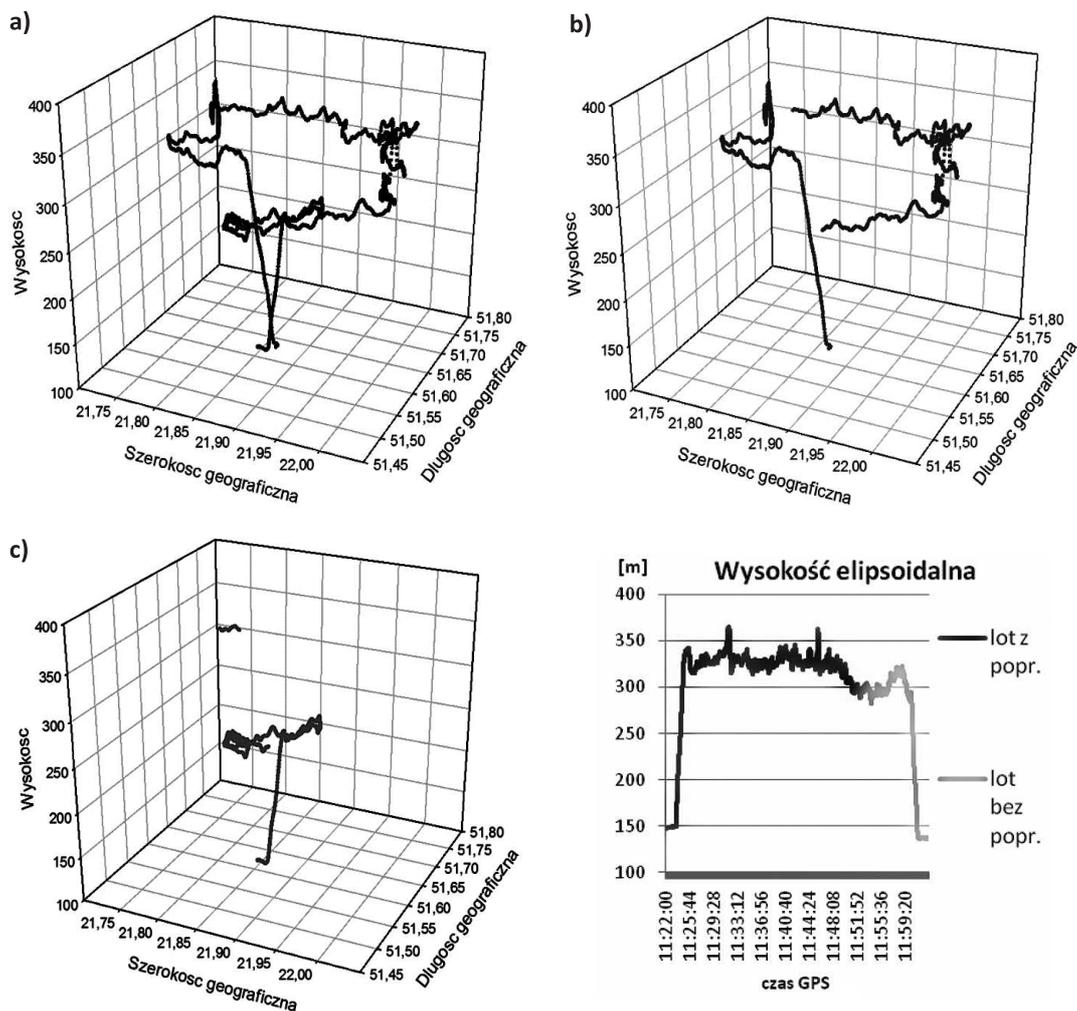
- Rysunek 5a – cała trajektoria lotu,
- Rysunek 5b – trajektoria lotu z poprawkami z systemu ASG-EUPOS,
- Rysunek 5c – trajektoria lotu bez poprawek z systemu ASG-EUPOS.

Biorąc pod uwagę wykresy na Rysunku 5 widać, że nastąpiły dwa rozłączenia z systemem ASG-EUPOS. O ile pierwsze problemy z łącznością pojawiły się w środkowej fazie lotu, to drugie rozłączenie miało miejsce pod koniec lotu i trwało przez całe podejście do lądowania. W poszukiwaniu przyczyn zerwania połączenia z systemem ASG-EUPOS należy przeanalizować zmiany wysokości statku powietrznego w trakcie lotu.

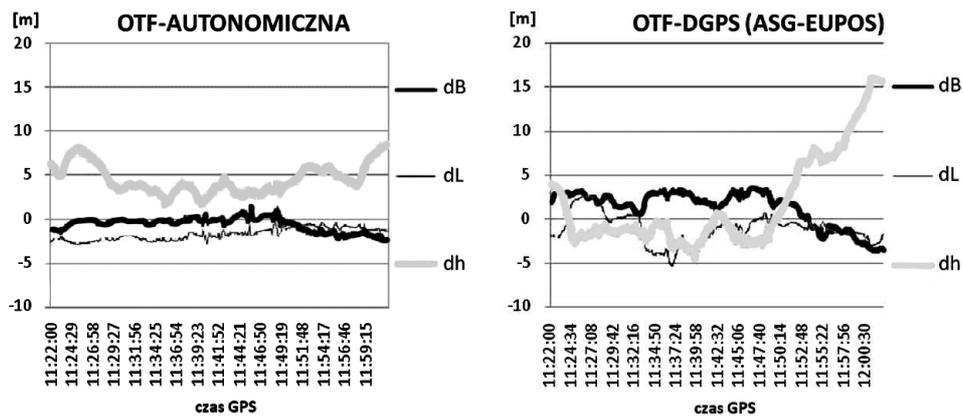
Wiedza zdobyta w trakcie wcześniej prowadzonych badań [5] pokazuje, że należy się spodziewać proble-

mów z dostępnością sygnału GPRS na wysokości od ok. 300 - 500 metrów nad ziemią. W analizowanym przypadku wysokość lotu była stosunkowo niska i oscylowała w granicach 150-200 metrów. Na tej wysokości nie powinno być problemu związanego z ograniczeniem wysokościowym zasięgu sygnału GPRS. Samolot wlatując nad obszar lasu (teren o słabym pokryciu sygnałem GSM) spowodował zerwanie połączenia GPRS. Najprawdopodobniej problemy techniczne z przełączeniem się modemu na inny maszt transmisyjny GSM spowodowały brak reinicjalizacji połączenia w końcowej fazie lotu. Rysunek 2 pokazuje, obszar nad którym odbiornik przestał odbierać poprawki z systemu ASG-EUPOS (oznaczony czerwonym prostokątem). Rozkład dokładności otrzymanych z lotu drugiego w Dęblinie przedstawia Rysunek 6.

W trakcie badań zarejestrowano 2445 epok, z czego 678 epok nie posiadało rozwiązania DGPS, co stanowi 27,8% całego pomiaru. Na Rysunku 6 przedstawiono różnice, dla każdej sekundy lotu, pomiędzy pozycjonowaniem OTF, a pozycjonowaniem autonomicznym i DGPS wykorzystując poprawki z systemu ASG-EUPOS. Na Rysunku 6 widać, że do momentu, gdy



Rysunek 5. Trajektorie lotu drugiego w Dęblinie wraz ze zmianą wysokości elipsoidalnej w trakcie lotu



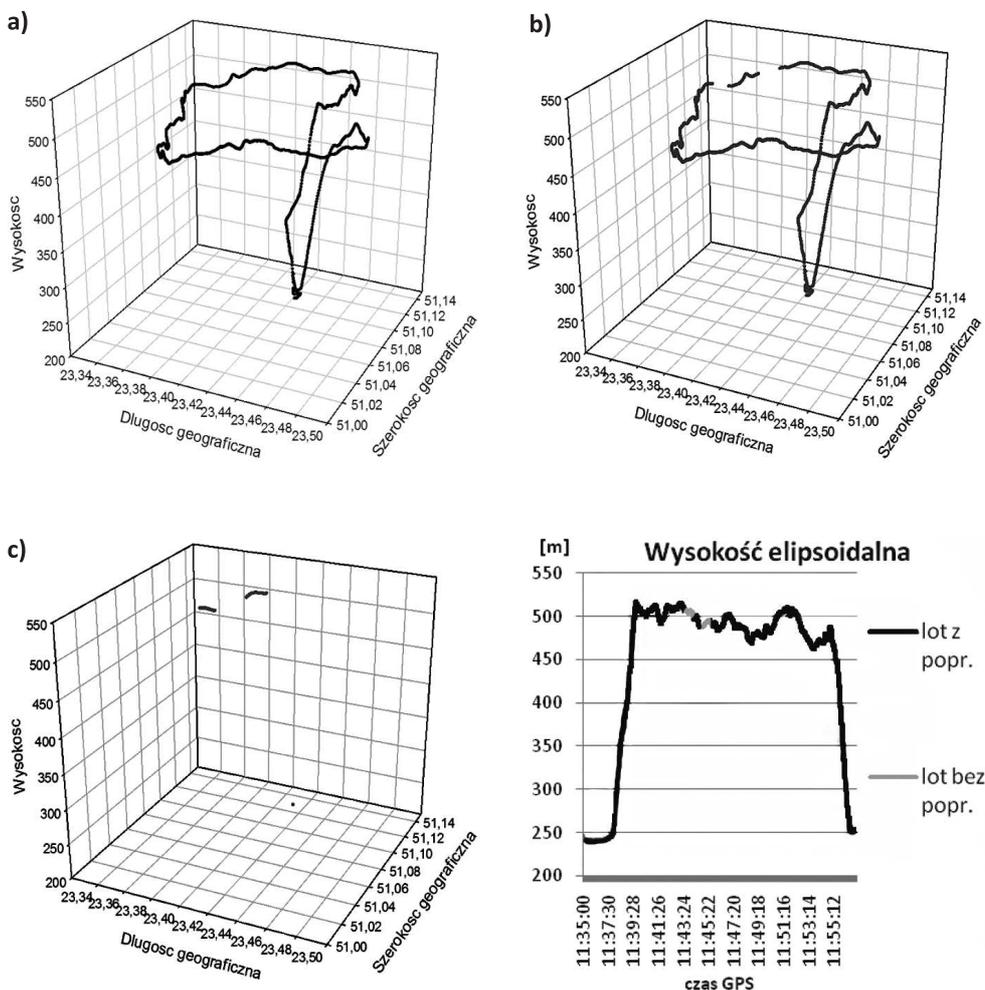
Rysunek 6. Różnice między współrzędnymi OTF a współrzędnymi autonomicznymi i DGPS (ASG-EUPOS)

odbiornik odbierał poprawki DGPS pozycja była stabilna. W końcowej fazie lotu wystąpiły bardzo duże różnice w wyznaczonych wysokościach.

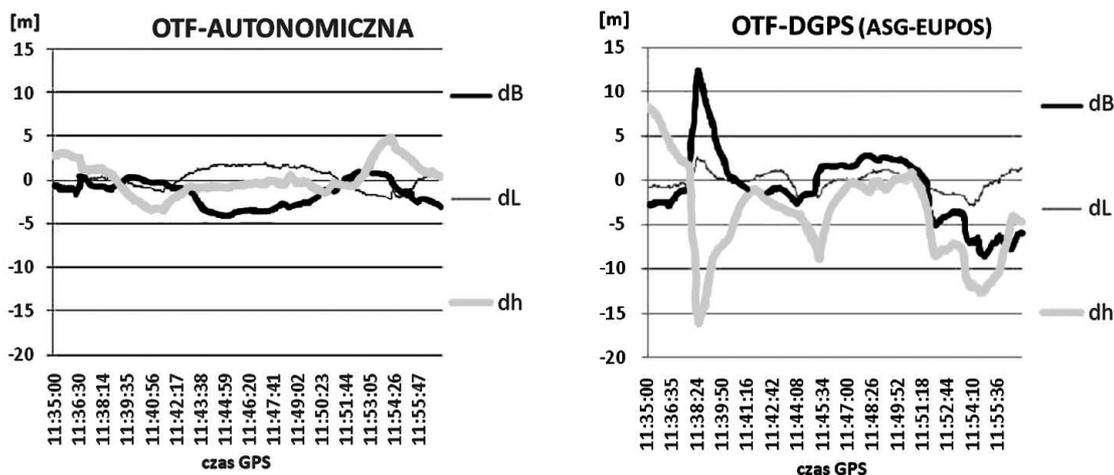
W trakcie drugiego eksperymentu w Chełmie, wykorzystano samolot Cessna, będący własnością Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Chełmie. Podczas testu zarejestrowano 1385 epok z czego 56 epok nie posiadało rozwiązania DGPS, co stanowi zaledwie 4,0% całego pomiaru. W odróżnieniu do

lotów w Dęblinie połączenie GPRS w trakcie lotu w Chełmie było znacznie stabilniejsze. Na Rysunku 7 przedstawiono wizualizację trajektorii lotu w Chełmie, na którym przedstawiono: Rysunek 7a – cały lot, Rysunek 7b – trajektoria lotu z poprawkami z systemu ASG-EUPOS, Rysunek 7c – trajektoria lotu bez poprawek z systemu ASG-EUPOS.

Na Rysunku 7 widać, że w trakcie lotu miały miejsce dwa rozłączenia z serwisem ASG-EUPOS. Nastąpi-



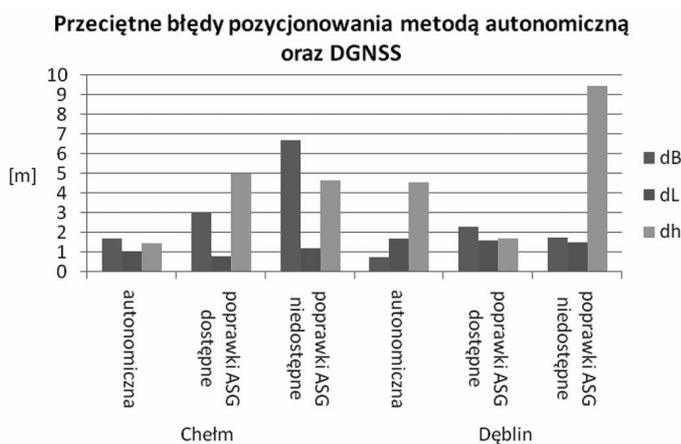
Rysunek 7. Trajektorie lotu w Chełmie wraz ze zmianą wysokości elipsoidalnej w trakcie lotu



Rysunek 8. Różnice między współrzędnymi OTF a współrzędnymi autonomicznymi i DGPS (ASG-EUPOS)

ty one na wysokości ok. 350 metrów nad ziemią. Rozkład dokładności otrzymanych podczas lotu w Chełmie przedstawia Rysunek 8.

Rysunek 9 przedstawia przeciętne błędy pozycjonowania uzyskane metodą autonomiczną i DGPS przy wykorzystaniu systemu (ASG-EUPOS).



Rysunek 9. Przeciętne błędy pozycjonowania

4. WNIOSKI

Wyniki przeprowadzonych eksperymentów w Chełmie i Dęblinie wskazują na istniejące potencjalne możliwości wykorzystania serwisów nawigacyjnych systemu ASG-EUPOS w systemie monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego. Na podstawie przedstawionych analiz można zauważyć, że największym problemem wykorzystywania w lotnictwie serwisów czasu rzeczywistego (KODGIS i NAWGIS) jest zapewnienie ciągłości

połączenia GPRS. We wszystkich przeprowadzonych lotach wystąpiły zerwania połączenia GPRS, które spowodowały spadek dokładności pozycjonowania. Alternatywą dla przesyłania poprawek przez Internet jest wykorzystanie klasycznego radiomodemu. Takie rozwiązanie jak wskazują wcześniejsze badania [6] również bywają zawodne. W tym przypadku zamiast ograniczenia wysokościowego, jak w przypadku GPRS, występuje ograniczenie zasięgu poziomego radiomodemu. Rozwiązaniem problemów z teletransmisją danych może być wykorzystanie retransmitera zwiększającego zasięg działania radiomodemu lub też świadome ograniczenie zasięgu poprawek do obszaru kilku, kilkunastu kilometrów od lotniska, zapewniające pozycjonowanie DGNSS tylko dla najbardziej istotnych operacji lotniczych jakimi są start, podejście do lądowania i lądowanie.

Wyniki pozycjonowania autonomicznego oraz przy wykorzystaniu systemu ASG-EUPOS uzyskano niedrogimi i ogólnie dostępnymi odbiornikami GPS. Dla testu wykonanego w Chełmie, wbrew oczekiwaniom, najlepsze dokładności uzyskało pozycjonowanie autonomiczne. Jest to najprawdopodobniej efekt przypadkowy, gdyż pozycjonowanie DGNSS jest zazwyczaj bardziej stabilne i dokładne. W przypadku lotu drugiego w Dęblinie wykorzystanie poprawek DGNSS systemu ASG-EUPOS poprawiło otrzymane dokładności, w szczególności współrzędną pionową.

LITERATURA

- [1] <http://www.asgeupos.pl>.
- [2] Bosy J., Graszka W., Leończyk M.: Aktywna Sieć Geodezyjna Eupos jako element składowy państwowego systemu odniesień przestrzennych, X Konferencja: Rola geodezji w społeczeństwie informacyjnym, Elbląg, kwiecień, 2008, 106-114.
- [3] Specht C.: System GPS, Bernardinum, Pelplin, 2007, 215-230, 254-273.
- [4] Retscher G.: Accuracy Performance of Virtual Reference Station (VRS) Networks, Journal of Global Positioning Systems 2002, Vol.1, No. 1,40-47.
- [5] Grunwald G. Ciećko A., Oszczak S., Wykorzystanie serwisów systemu ASG-EUPOS do wyznaczenia trajektorii lotu samolotu, Logistyka – Czasopismo dla profesjonalistów, Nr 6/2010, CD-ROM paper 1039-1048.
- [6] Ćwiklak J., Monitorowanie ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS cz. I, Logistyka – Czasopismo dla profesjonalistów, Nr 6/2010, CD-ROM paper 647-657.