

kpt. mgr inż. Marek BRZozowski
mjr mgr inż. Mirosław MYSZKA
kpt. mgr inż. Zbigniew LEWANDOWSKI
Wojskowy Instytut Techniczny Uzbrojenia

POZYCJONOWANIE STATKU POWIETRZNEGO W LOCIE ZA POMOCĄ ODBIORNIKA DGPS Z FUNKCJĄ ODBIORU POPRAWEK RÓŻNICOWYCH Z SATELITÓW SYSTEMU EGNOS

Streszczenie: W artykule przedstawiono założenia funkcjonalne oraz krótką charakterystykę działania europejskiego satelitarnego systemu wspomagania nawigacji EGNOS. Ponadto przedstawiono wyniki doświadczeń wykonanych w trakcie oblotów radaru średniego zasięgu ODRA, których celem było praktyczne sprawdzenie właściwości systemu EGNOS i możliwości wykorzystania odbiorników DGPS z funkcją odbioru poprawek EGNOS do precyzyjnego pozycjonowania statków powietrznych w locie.

1. Wstęp

Wykorzystanie autonomicznych odbiorników GPS w nawigacji jest w chwili obecnej powszechne. Jednak zarówno w nawigacji lotniczej jak i morskiej wymagania użytkowników odnośnie dokładności pozycjonowania oraz wiarygodności danych nawigacyjnych znacznie przewyższyły możliwości oferowane przez standardowy serwis pozycyjny (SPS) systemu GPS. W celu poprawy dokładności wyznaczania pozycji oraz zapewnienia użytkownikowi informacji o stanie pracy systemu oraz ewentualnych zakłóceniach w procesie pozycjonowania obok naziemnych, radiowych systemów transmisji poprawek różnicowych, opracowano koncepcję satelitarnego systemu wspomagania. System ten realizuje szereg założeń pozycjonowania różnicowego jednak działa na znacznie większym obszarze Ziemi w trybie ogólnodostępnym dla wszystkich użytkowników posiadających odbiorniki z możliwością odbioru sygnałów korekcyjnych. Z założenia, satelitarne systemy wspomagania miały działać w oparciu o satelity geostacjonarne, transmitujące sygnały analogiczne do sygnałów satelitów systemu GPS uzupełnione dodatkowo o poprawki różnicowe i informacje o aktualnym stanie systemu nawigacyjnego. Systemy te nazywane są wielkoobszarowymi systemami wspomagania WAAS (Wide-area Augmentation Service). W USA działa system WAAS, analogicznym rozwiązaniem jest wdrożony przez Japonię system MSAS (Multi-functional Satellite Augmentation System). W Europie opracowano i uruchomiono system EGNOS, który miał po pierwsze poprawić warunki nawigacji satelitarnej na obszarze Europy oraz umożliwić opanowanie technologii potrzebnych do opracowania i uruchomienie europejskiego systemu nawigacji satelitarnej. W opracowanie i uruchomienie systemu EGNOS zaangażowały się europejskie instytucje międzynarodowe: Europejska Agencja Kosmiczna, Komisja Europejska oraz Europejska Organizacja Bezpieczeństwa Nawigacji Powietrznej EUROCONTROL. Założenia techniczne systemu EGNOS mają docelowo zapewnić dokładność pozycjonowania analogiczną do metod DGPS realizowanych w oparciu o naziemne stacje referencyjne oraz transmisję poprawek drogą radiową. Jednak do chwili obecnej działanie systemu

EGNOS nie jest w pełni stabilne, a zakładane parametry dokładnościowe pozycjonowania nie zostały spełnione.

2. Założenia funkcjonalne i charakterystyka działania systemu EGNOS

EGNOS jest systemem bardzo złożonym technicznie i organizacyjnie. Z technicznego punktu wygodnie jego struktura składa się z trzech podstawowych segmentów:

- kosmicznego – złożonego z trzech satelitów geostacjonarnych AOR-E, ARTEMIS, IOR;
- naziemnego – obejmującego sieć naziemnych stacji kontrolnych, sterujących i telemetrycznych;
- użytkownika – złożonego z szerokiego wachlarza odbiorników GPS z zaimplementowaną obsługą sygnałów EGNOS.

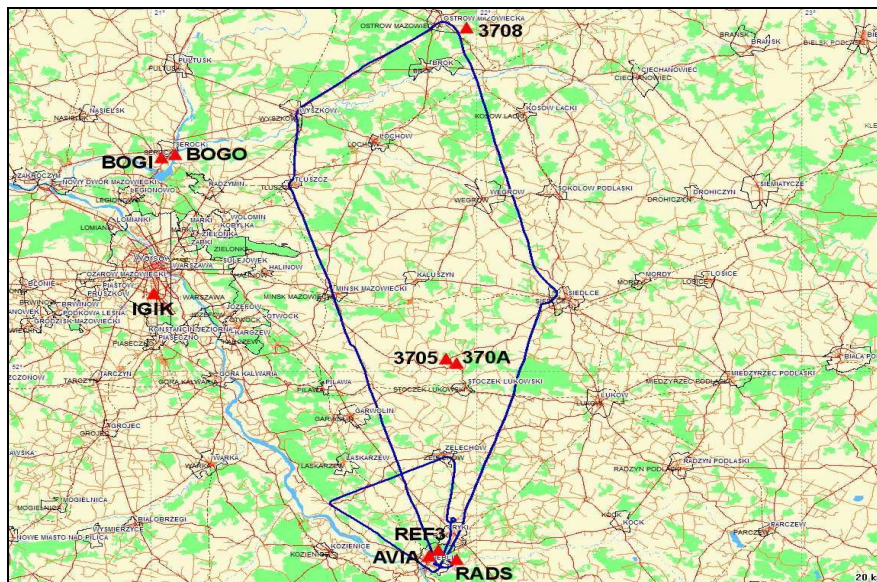
Korekty różnicowe do sygnałów poszczególnych satelitów GPS oraz informacje o stanie pracy systemu GPS i EGNOS są wypracowywane w sieci 34 naziemnych stacji monitorujących RIMS (Range and Integrity Monitoring Stations) rozmieszczonych na terenie całej Europy. Przetwarzaniem danych ze stacji RIMS zajmują się cztery centra sterowania systemu MCC (Mission Control Center). Dodatkowo w skład naziemnego segmentu systemu EGNOS wchodzi: dwie stacje kontrolno-testowe, sześć naziemnych stacji nawigacyjnych NLES (Navigation Land Earth Station) oraz rozbudowana sieć telekomunikacyjna EWAN (EGNOS Wide Area Network). Proces wypracowania poprawek różnicowych oraz danych o jakości pracy systemów GPS i EGNOS jest bardzo złożony. Na podstawie danych zebranych w stacjach monitorujących centra sterowania systemu obliczają poprawki efemeryd satelitów geostacjonarnych, błędy chodu zegarów satelitów oraz zakłóceń wprowadzanych w proces pozycjonowania przez opóźnienia jonosferyczne sygnałów satelitarnych. Obliczone poprawki są kodowane w postaci depechy nawigacyjnej o strukturze podobnej do sygnałów GPS i przesyłane za pośrednictwem stacji nawigacyjnych do transponderów znajdujących się na satelitach geostacjonarnych.

3. Warunki wykonania eksperymentu oceny rzeczywistych właściwości systemu EGNOS

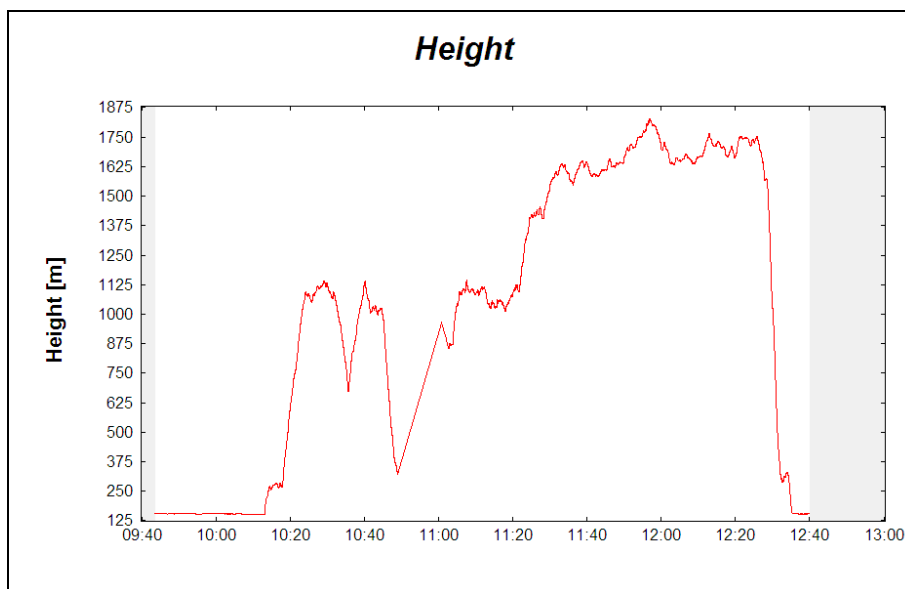
W trakcie badań radaru średniego zasięgu ODRA wykonywane były loty samolotem Cessna, z zamontowanym na pokładzie precyzyjnym, dwuczęstotliwościowym odbiornikiem Ashtech Z-Extreme umożliwiającym określenie trójwymiarowej pozycji lecącego samolotu z interwałem 1 s z dokładnością nie gorszą niż 20 cm. Do osiągnięcia takiej dokładności pozycjonowania niezbędne jest wykonanie korekcji różnicowej zarejestrowanych przez odbiornik współrzędnych metodą RTK w trybie postprocessingu w odniesieniu do danych zarejestrowanych przez stacje referencyjne zamontowane na punktach o znanych współrzędnych położenia. Tak wysoka dokładność pozycjonowania jest wymagana dla potrzeb sprawdzeń dokładności estymacji współrzędnych obiektów powietrznych przez urządzenia radiolokacyjne. Korzystając z możliwości zamontowania w samolocie Cessna dodatkowego sprzętu GPS postanowiono wykonać eksperyment, polegający na jednoczesnym pozycjonowaniu samolotu za pomocą wzorcowego odbiornika Ashtech Z-Extreme oraz odbiornika U-blox z zaimplementowaną funkcją odbioru poprawek różnicowych z systemu EGNOS w czasie rzeczywistym. Założeniem eksperymentu było sprawdzenie dokładności i ciągłości pozycjonowania realizowanego przez odbiorniki U-blox poprzez porównanie

zarejestrowanych przez niego danych z danymi wzorcowymi uzyskanymi z odbiornika Ashtech Z-Extreme i udokładnionymi w trybie postprocessingu.

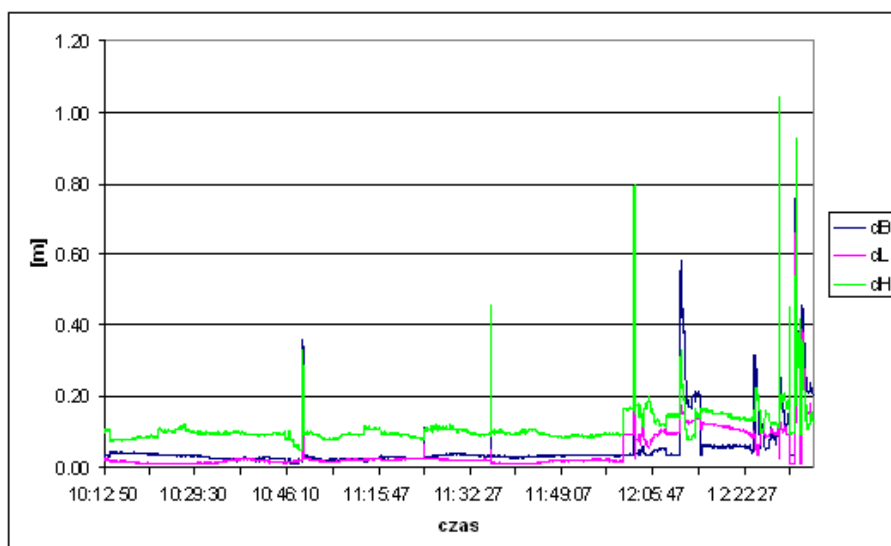
Na Rys. 1 przedstawiono trasę lotu samolotu Cessna z zaznaczonymi punktami w których rozmieszczone były stacje referencyjne rejestrujące dane niezbędne do korekcji RTK. Na Rys. 2 przedstawiono profil wysokości na jakiej był wykonywany lot, natomiast na Rys. 3 przedstawiono wykres obliczonych błędów pozycjonowania w trybie RTK postprocessing we współrzędnych: długości geograficznej (B), szerokości geograficznej (L) oraz wysokości (H) nad elipsoidą WGS-84.



Rys. 1 Trasa lotu samolotu Cessna

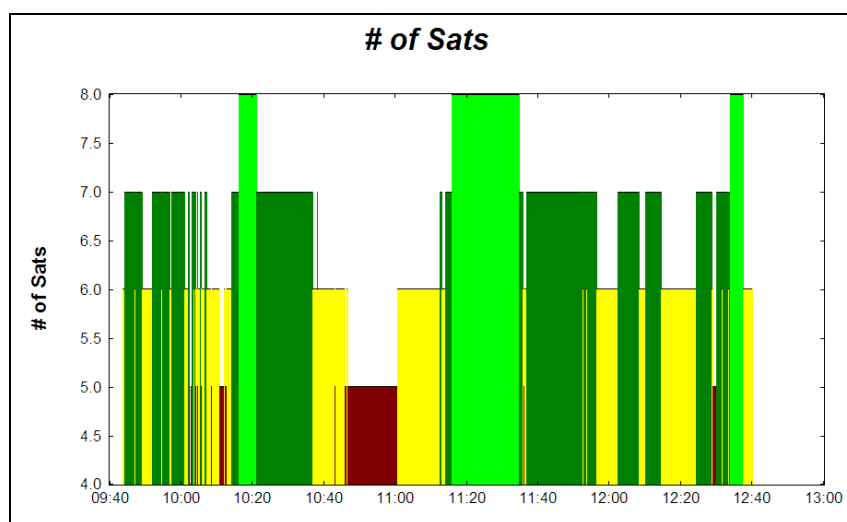


Rys. 2 Profil wysokości lotu samolotu Cessna

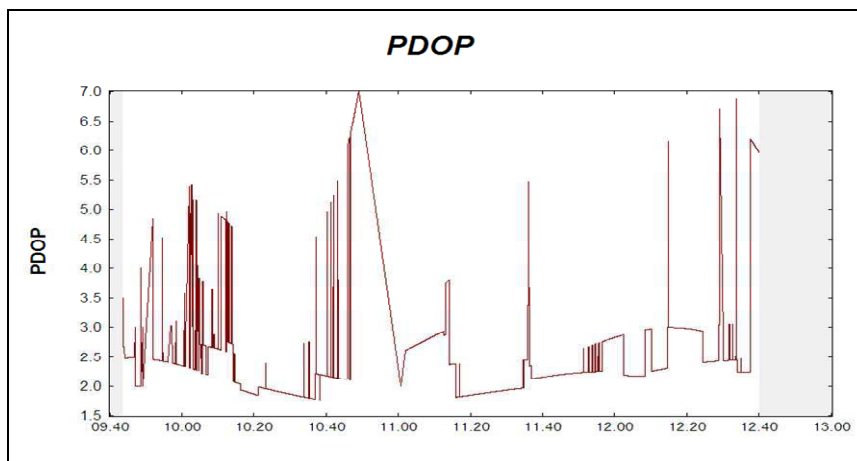


Rys. 3 Graficzna prezentacja błędów pozycji samolotu w poszczególnych współrzędnych, obliczonych na każdą sekundę lotu

Na Rys. 4 i Rys. 5 przedstawiono odpowiednio: ilość satelitów widzianych przez odbiorniki w trakcie lotu oraz przebieg zmian współczynnika PDOP (Position Dilution of Precision). Rysunki te pozwalają na ocenę warunków satelitarnych pracy odbiorników GPS w trakcie eksperymentu. Dokładność pozycjonowania w trybie autonomicznym bezpośrednio zależy od liczby śledzonych jednocześnie satelitów oraz ich geometrycznego rozmieszczenia względem odbiornika. Miarą możliwej do osiągnięcia dokładności pozycjonowania w zależności od przestrzennego rozmieszczenia satelitów w strefie obserwacji danego odbiornika GPS jest współczynnik PDOP. Wartość współczynnika PDOP jest tym mniejsza im przestrzenne rozmieszczenie satelitów jest korzystniejsze do określenia pozycji przez odbiornik GPS.



Rys. 4 Liczba satelitów widziana przez odbiorniki w trakcie lotu

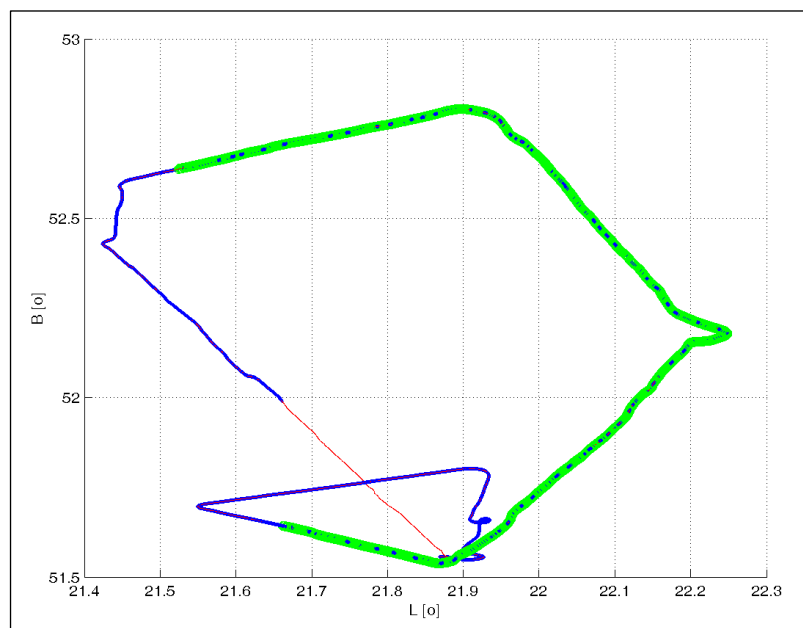


Rys. 5 Wykres zmian wartości współczynnika PDOP będącego miarą rzeczywistych warunków pozycjonowania w trakcie lotu

4. Wyniki pozycjonowania w locie samolotu cessna za pomocą odbiornika U-blox z funkcją odbioru poprawek DGPS z satelitów systemu EGNOS

Odbiornik U-blox rejestrował współrzędne trajektorii lotu samolotu z interwałem 1 s. w formacie NMEA. Użyteczne dane pomiarowe zostały zarejestrowane jedynie w części lotu, mimo, że pułap wykonywanego lotu i brak przeszkód terenowych pozwalał raczej przypuszczać, że odbiornik GPS będzie mógł odbierać poprawki w sposób niezakłócony.

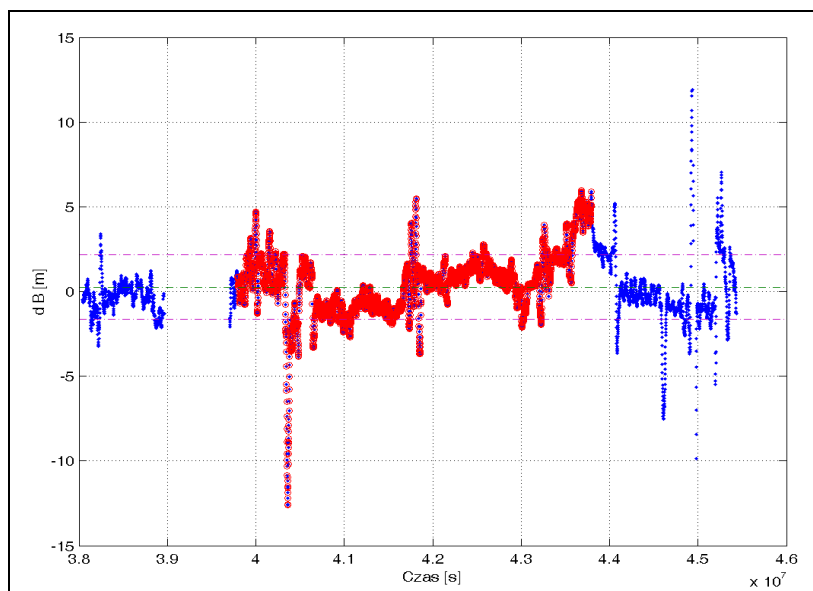
Na Rys. 6 przedstawiono wykres trasy lotu samolotu Cessna zarejestrowany dwoma metodami. Kolorem czerwonym zobrazowano współrzędne wzorcowe, zarejestrowane odbiornikiem Ashtech Z-Extreme i udokładnione metodą RTK w trybie postprocessing. Kolorem niebieskim przedstawiono współrzędne zarejestrowane przez odbiornik U-blox.



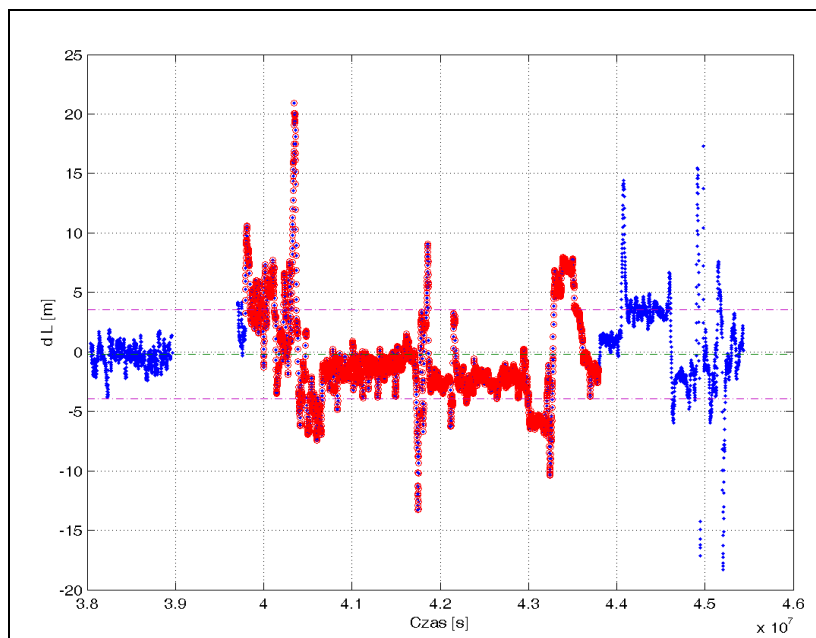
Kolorem zielonym wyróżniono te współrzędne zarejestrowane przez odbiornik U-blox, które zostały wyznaczone z wykorzystaniem poprawek odebranych z satelitów systemu EGNOS.

Rys. 6 Trasa lotu nr 1. Kolor czerwony – współrzędne prawdziwe RTK post-processing, kolor niebieski – współrzędne autonomiczne z odbiornika U-blox, kolor zielony – współrzędne z poprawkami systemu EGNOS

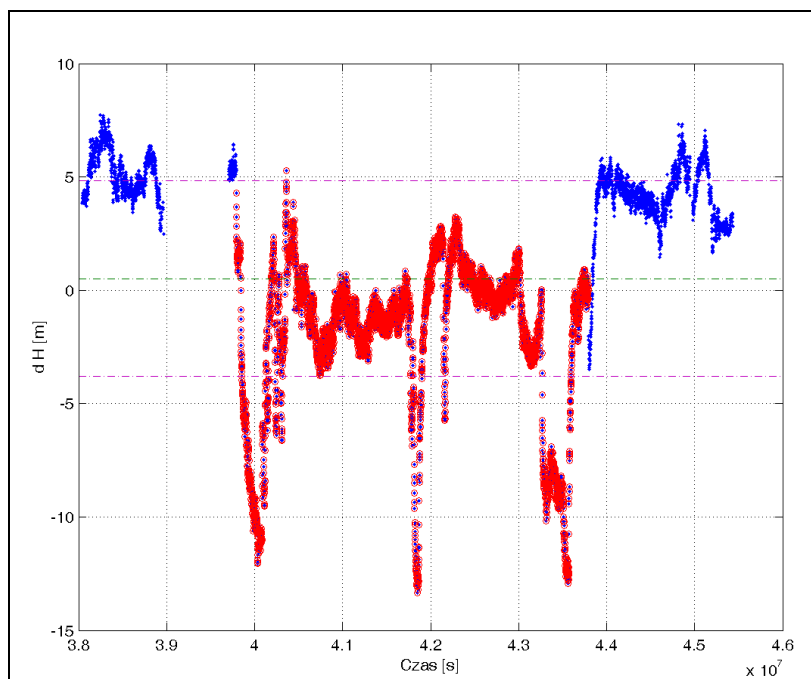
W celu oceny dokładności pozycjonowania odbiornika korzystającego z poprawek transmitowanych przez satelity systemu EGNOS obliczono różnice współrzędnych B, L, H otrzymanych metodą RTK w trybie postprocessingu oraz współrzędnych zarejestrowanych przez odbiornik U-blox. W obliczeniach różnicowano współrzędne zarejestrowane w tych samych momentach czasowych względem czasu GPS. Otrzymane wyniki przedstawione są na poniższych wykresach. Kolorem niebieskim przedstawiono różnice współrzędnych, dla których odbiornik U-blox nie uwzględniał korekt z systemu EGNOS. Kolorem czerwonym przedstawiono różnice współrzędnych pozycji, które zostały wyznaczone w trybie korekt różnicowych odbieranych z satelitów systemu EGNOS.



Rys. 7 Wykres różnic współrzędnej B w funkcji czasu.



Rys. 8 Wykres różnic współrzędnej L w funkcji czasu.



Rys. 9 Wykres różnic współrzędnej wysokości elipsoidalnej H w funkcji czasu.

5. Wnioski

Analizując otrzymane wyniki z przeprowadzonego eksperymentu można sformułować następujące wnioski:

- wykorzystanie odbiornika GPS z funkcją odbioru poprawek różnicowych z systemu EGNOS na pokładzie samolotu nie gwarantuje uzyskania rejestracji pozycji w trakcie całego lotu z uwzględnieniem korekt różnicowych,
- momenty czasowe w których odbiornik zaczął uwzględniać poprawki z systemu EGNOS oraz kiedy przestał ich używać w rozwiązaniu są wysoce przypadkowe,
- analizując wykresy różnic współrzędnych wzorcowych pozycji samolotu oraz współrzędnych zarejestrowanych przez odbiornik U-blox nie można jednoznacznie stwierdzić, że korekty różnicowe systemu EGNOS powodują wzrost dokładności pozycjonowania,
- w odniesieniu do współrzędnej wysokości można zauważyć, że korekty różnicowe powodują przesunięcie wartości średniej różnic wysokości w okolice 0. Jednak w trakcie pozycjonowania z korektami systemu EGNOS występują przedziały czasu w których współrzędna wysokości jest określana z błędem przekraczającym znacznie 10 m,
- wykonany eksperyment wskazuje, że zastosowanie odbiornika GPS uwzględniającego w pozycjonowaniu korekty różnicowe systemu EGNOS nie poprawia w zauważalny sposób dokładności wyznaczeń w odniesieniu do pozycjonowania możliwego do realizacji za pomocą dobrej klasy odbiornika GPS w trybie autonomicznym SPS,
- zarejestrowane za pomocą odbiornika U-blox dane pomiarowe, nie są na tyle precyzyjne, aby mogły być użyte jako dane wzorcowe do określania dokładności wyznaczania współrzędnych przez urządzenia radiolokacyjne. Błędy pozycjonowania we współrzędnych płaskich są tego samego rzędu, co błędy badanych urządzeń radiolokacyjnych. Błędy określania wysokości charakteryzują się natomiast występowaniem przedziałów czasowych w których ich poziom

znacznie wzrasta, co jest niekorzystnym zjawiskiem w procesie analizy procesu estymacji wysokości przez badane urządzenia radiolokacyjne.

Literatura

- [1] Gajderowicz I., „Kartografi matematyczna dla geodetów, wydanie II” - Wydawnictwo Akademii Rolniczo-Technicznej, 1999.
- [2] Hofmann-Wallenhof, B., Lichtenger H. , Collins J., „GPS Theory and practice, Fourth edition” - Springer, Wien New York, 1997.
- [3] Lamparski J., „Navstar GPS od teorii do praktyki” - Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego, 2001.
- [4] Misra P., „Global Positioning System, Signals, Measurements, and Performance” - Ganga-Jamuna Press, 2001.
- [5] Opracowanie zbiorowe „Sprawozdanie z poszerzonych badań zdawczo-odbiorczych i okresowych trójwspółzrzednego radaru średniego zasięgu w paśmie S TRS-15, kryptonim ODRA– protokoły szczegółowe.” – WITU, 2007.
- [6] Opracowanie zbiorowe „Badania dokładnościowe prototypu stacji radiolokacyjnej z wykorzystaniem systemu GNSS; precyzyjne wyznaczenie trasy lotu samolotu Cessna za pomocą satelitarnych systemów nawigacyjnych” – Wyższa Oficerska Szkoła Sił Powietrznych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski, 2007.
- [7] Specht C., „System GPS” - Wydawnictwo Bernardinum Sp.z o.o., Pelpin 2007.

POSITIONING OF FLYING AIRCRAFT BY THE DGPS RECEIVER WITH THE OPTION OF DIFFERENTIAL CORRECTIONS FROM EGNOS SATELLITE SYSTEM

Abstrakt: Some information about the concept and characteristics of the European Satellite System for Supporting the Navigation EGNOS is presented in the paper. Some results are also presented from experiments when the middle range radar system ODRA was tested. The aim of tests was to check the suitability of using DGPS receivers equipped with EGNOS correcting system for precise positioning the flying aircraft platforms.