

Janusz ĆWIKLAK¹

MONITOROWANIE RUCHU STATKÓW POWIETRZNYCH I POJAZDÓW SŁUŻB PORZĄDKU PUBLICZNEGO Z WYKORZYSTANIEM GNSS – CZ. I

Zgodnie z tendencjami światowymi GNSS znajduje szerokie zastosowanie jako źródło pozycjonowania w różnego rodzaju systemach śledzenia obiektów. Proponowany system monitorowania składa się z trzech podstawowych komponentów: podsystemu pozycjonowania – pokładowych odbiorników GNSS, podsystemu transmisji danych, podsystemu zobrazowania danych i zarządzania akcją ratowniczą (sytuacją kryzysową). W celu oceny przydatności proponowanych rozwiązań prowadzone są badania związane z dokładnością pozycjonowania, zasięgiem i ciągłością działania. Artykuł zawiera charakterystykę poszczególnych elementów systemu oraz wyniki badań z pierwszego etapu realizacji projektu.

TRAFFIC MONITORING OF AIRCRAFT AND VEHICLES OF PUBLIC ORDER SERVICES BASED ON GNSS – PART ONE

The idea of monitoring system for aircraft using satellite navigation systems is in line with the concept of the use of GNSS in aviation, both in Europe and worldwide. The proposed system consists of three basic components: the positioning, airborne GNSS receivers, the transmission of data and the ground station. Moreover, the team will examine the system in the areas of accuracy, range of tracking and continuity as well. The paper presents the system architecture and preliminary results of studies.

1. WSTĘP

Dynamiczny rozwój lotnictwa sprzyja zastosowaniu statków powietrznych w różnych dziedzinach życia społecznego, w tym związanych z bezpieczeństwem państwa. Przykładem takiego zastosowania jest lotnictwo służb porządku publicznego. Specyfika zadań tego lotnictwa to wykonywanie większości lotów na małej wysokości, co obecnie skutkuje brakiem możliwości śledzenia takiego lotu. Tradycyjny radar wykorzystywany w kontroli ruchu lotniczego w takich sytuacjach jest nieprzydatny ze względu na ograniczony zasięg działania na małych wysokościach oraz wysokie koszty jego pozyskania i

¹ Wyższa Szkoła Oficerska Sił Powietrznych, Wydział Lotnictwa; 08-521 Dęblin, ul. Dywizjonu 303/12, tel: +48 81 551-74-23, fax: +48 81 551-74-17, e-mail: jcwiklak@wp.pl

eksploatacji. Stan taki wpywa negatywnie zarwno na bezpieczeostwo lotw, jak i efektywność prowadzonych akcji.

Skupiając uwagę na zarzadzaniu w sytuacjach kryzysowych, okazuje się, że prowadzono badania systemu sledzenia pojazdw biorących udział w akcji ratowniczej[7]. Jednak w badaniach tych pominięto lotnictwo, którego specyfika działań jest inna i wymaga odrębnych badań.

Ponadto jak wynika z wywiadów przeprowadzonych wśród personelu służb porzadku publicznego istnieje zapotrzebowanie na kompleksowy system nie tylko sledzenia, ale i koordynacji działań [3]. Zarwno przedstawiciele policji, straży granicznej, jak i straży pożarnej sądzą, że w prowadzonych przez nich akcjach brakuje dokładnej i wiarygodnej informacji o działaniach stron współpracujących. Przepływ informacji następuje jedynie na podstawie komunikacji głosowej za pośrednictwem urzadzeń telekomunikacyjnych. Stan taki utrudnia koordynację działań tych służb w czasie prowadzenia jakichkolwiek akcji. Na uwagę zasługują ostatnio pozyskiwane do tych służb radiomodemy z funkcją GPS przeznaczone do montażu na pojazdach. Po wstępnych testach okazuje się jednak, że urzadzenia te nie posiadają aplikacji umożliwiającej wizualizację pozycji obiektu na tle mapy. Tym samym należy podkreślić, że obecnie służby koordynujące akcją ratowniczą są pozbawione zobrazowania sytuacji w czasie rzeczywistym, co ma istotny wpływ na powodzenie prowadzonej akcji.

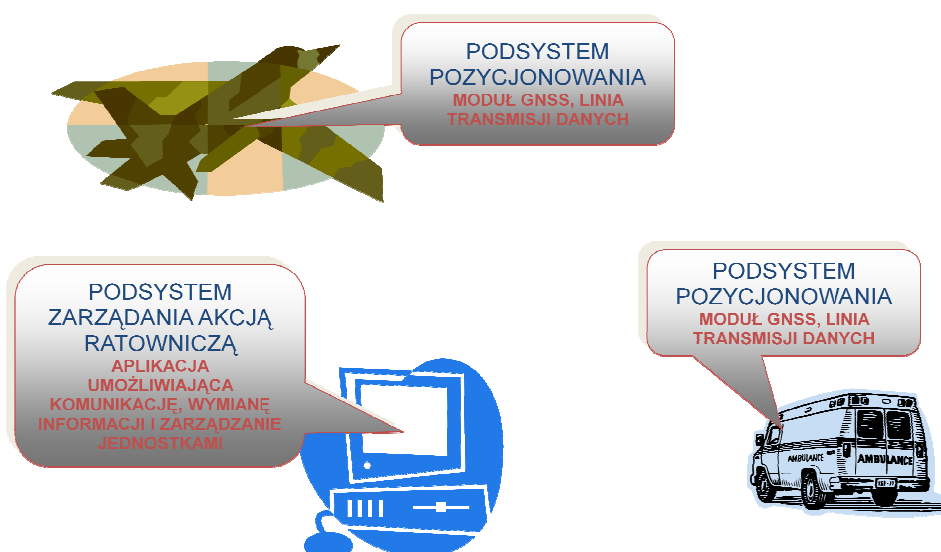
Dlatego podjęto prace rozwojowe, których celem jest opracowanie prototypowego systemu sledzenia ruchu statków powietrznych w locie i na ziemi oraz pojazdów służb porzadku publicznego. Idea systemu monitoringu statków powietrznych z wykorzystaniem systemów nawigacji satelitarnej wpisuje się w koncepcję wykorzystania GNSS w lotnictwie zarwno w Europie, jak i na świecie. Ponadto jednym z głównych zadań budowanego przez Unię Europejską satelitarnego systemu nawigacyjnego GALILEO jest wspieranie akcji związanych z bezpieczeostwem poszczególnych państw Unii i ich obywateli [1].

2. PRZEZNACZENIE I ARCHITEKTURA SYSTEMU

System przeznaczony jest do wykorzystania w policji, straży pożarnej, straży granicznej, pogotowiu ratunkowym. System może wspierać i optymalizować prowadzenie takich akcji, jak:

- patrolowanie dróg przez śmigłowce policyjne (szybka lokalizacja wypadków drogowych);
- wspieranie działań operacyjnych policji;
- kierowanie dojazdem pojazdów do miejsc akcji ratowniczych;
- monitorowanie klęsk żywiołowych;
- optymalizacja działań pomocy humanitarnej w czasie zwalczania klęsk żywiołowych;
- monitorowanie zdarzeń o charakterze terrorystycznym;
- kierowanie akcją poszukiwawczo-ratowniczą;
- patrolowanie granic państwowych (szybka lokalizacja osób nielegalnie przekraczających granice, itp).

W ramach projektu wyposażono kilka obiektów (statki powietrzne, pojazdy) w pokładowe elementy systemu. Dane o parametrach statków powietrznych, pojazdów są transmitowane i zobrazowane na stanowisku badawczym, docelowo np.: na stanowisku dyspozytora-koordynatora akcji ratowniczej. Ponadto system zapewnia wymianę informacji pomiędzy samolotami i pojazdami wyposażonymi w pokładowe elementy systemu. Badania są prowadzone z uwzględnieniem różnorodnych operacji powietrznych, takich jak: start, manewry po starcie, lot po trasie na małej wysokości ze zmiennym profilem lotu, lądowanie w terenie przygodnym, zbliżanie do lotniska i podejście do lądowania.



Rys. 1. Architektura systemu monitoringu pojazdów i statków powietrznych

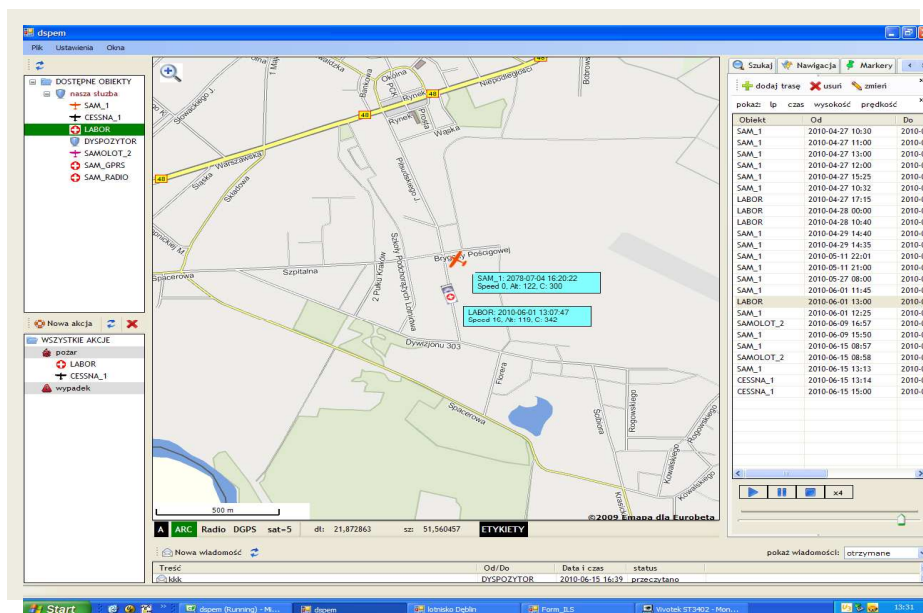
System składa się z dwóch podstawowych elementów (rys. 1):

- systemu mobilnego montowanego w pojazdach i statkach powietrznych,
- systemu dyspozytorskiego (stacjonarnego lub mobilnego) znajdującego się w siedzibach służb porządku publicznego.

Podsystem pokładowy jest oparty na zaawansowanym komputerze z wyświetlaczem dotykowym. System automatycznie wysyła informacje o swoim położeniu i parametrach pracy pojazdu, samolotu. W skład systemu wchodzi również aplikacja umożliwiająca komunikację (komunikaty tekstowe) pomiędzy poszczególnymi użytkownikami systemu oraz wizualizację sąsiednich pojazdów i samolotów ich przyporządkowanie do określonej grupy, jak również punkty charakterystyczne zdefiniowane przez dyspozytorów naziemnych, na podkładzie mapy cyfrowej. Ponadto aplikacja mapowa umożliwia nawigację po trasie zdefiniowanej przez kierowcę, pilota lub dyspozytora naziemnego, a także przesyłanie przez kierowcę, pilota punktów geograficznych z opisem.

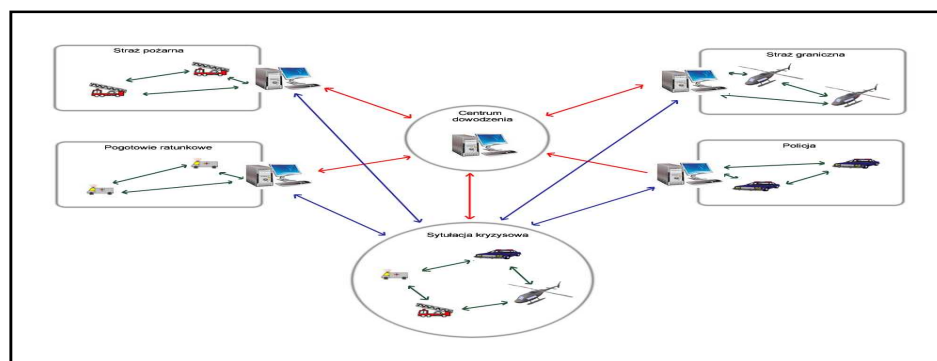
System dyspozytorski jest instalowany na stanowiskach kierowania poszczególnych służb porządku publicznego i w centrum dowodzenia akcją ratowniczą (centrum kryzysowe gminy, powiatu, itp.). W zależności od sytuacji może być również instalowany na pokładzie pojazdu (samolotu). System dyspozytorski umożliwia wizualizację pojazdów i

statków powietrznych na mapie oraz dodawanie i edytowanie na mapie punktów charakterystycznych (pozar, wypadek itp.), które będą przekazywane automatycznie do systemów mobilnych (rys. 3). Ponadto aplikacja umożliwia zarządzanie akcj ratowniczą między innymi poprzez komunikacj pomiędzy centrum dowodzenia, dyspozytorami innych służb i pojazdami oraz statkami powietrznymi, grupowanie jednostek w danej służbie, przydzielenie przez dyspozytora danej służby swoich jednostek do organizowanej akcji ratowniczej.



Rys. 2. Wizualizacja pojazdów i samolotów na tle mapy cyfrowej

Podczas sytuacji normalnej (nie kryzysowej) dyspozytor i jednostki poruszając się widz si i mogą przesya wiadomości tylko w ramach swojej służby lub w wydzielonej grupie danej służby. Gwarantuje to poufnoc każdej ze służb.



Rys. 3. Obieg informacji w projektowanym systemie monitoringu

Natomiast podczas sytuacji kryzysowej obiekty pochodzące z różnych służb widzą się i mają możliwość wymiany komunikatów w ramach akcji do której są przydzieleni. Kierowanie akcją kryzysową przejmuje centrum dowodzenia sytuacjami kryzysowymi, które zarządza pojazdami i samolotami informując na bieżąco i mając ciągły kontakt ze wszystkimi służbami. Gwarantuje to bardziej skuteczne i płynne przeprowadzeniem działań, w których uczestniczy kilka rodzajów służb porządku publicznego.

Istotnym elementem systemu jest obieg informacji w czasie rzeczywistym pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu (rys. 3). Idea ta pozwala każdemu użytkownikowi systemu obserwować na ekranie (na bieżąco) inne obiekty uczestniczące w akcji. Sposób ten pozwala na szybkie i racjonalne podejmowanie decyzji bez zbędnej zwłoki czasowej. Tym samym użytkownicy systemu mają świadomość sytuacyjną, która jest konieczna do pomyślnego powodzenia akcji [2, 5].

Aby spełnić powyższe wymogi do transmisji danych dla wszystkich użytkowników przydziela się jedną częstotliwość z wykorzystaniem techniki TDMA (ang. Time Division Multiple Access) [2, 6]. Dla cyfrowych łącz VHF przeznaczono zakres 136 900 do 136 975 MHz. Każdy transponder wysyła z określoną częstotliwością (1 do 60 sekund) swój raport pozycyjny, który jest odbierany przez pozostałe transpondery, będące w zasięgu fal VHF. Oprócz informacji o pozycji może być transmitowana poprawka różnicowa ze stacji referencyjnej, dane identyfikacyjne, różne ostrzeżenia oraz inne wiadomości tekstowe służące do wymiany informacji między transponderami. Meldunki są formowane w tzw. „time slots”, dzielone przez mikroprocesor transpondera. Minuta stanowi ekwiwalent jednej ramki podzielonej na sloty czasowe. Pojemność łącza (ilość slotów na minutę) zależy od przyjętej separacji i prędkości transmisji. Przy separacji międzykanałowej 25 kHz i prędkości 9600 BPS można zmieścić 2250 trzydziestodwubitowych slotów.

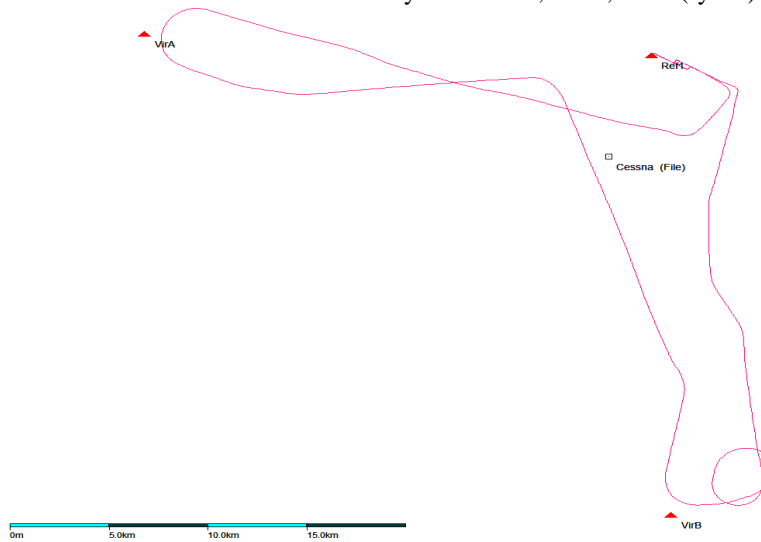
Transmisja danych jest kontrolowana przez komputer, który do synchronizacji czasu wykorzystuje zegar GPS. Umożliwia to sekwencyjne nadawanie lub odbiór protokołów informacji w jednym kanale radiowym, wzajemnie sobie nie przeszkadzając. Przydział slotów może odbywać się dwoma metodami (autonomiczna i kontrolowana). W metodzie autonomicznej, do której odnosi się nazwa STDMA, transponder sam szuka wolnych slotów, w których formatuje meldunki. Po odczytaniu odebranych danych radiowych transponder generuje tabelę aktualnej sytuacji ruchu radiowego, lokalizuje wolne sloty,

ciągłe je uaktualniając. Następnie formatuje raport pozycyjny, który zawiera także informacje o czasie zajęcia danego slotu oraz o tym, który slot jest przewidywany dla następnego raportu. Ponadto, każdy transponder okresowo zmienia sloty po uaktualnieniu tabeli sytuacji ruchowej danego kanału celem umożliwienia wejścia w system innym użytkownikom.

W metodzie kontrolowanej bazowa stacja naziemna zajmuje się przydziałem wolnych slotów dla każdego transpondera, będącego w zasięgu. Kilka slotów pozostaje zawsze wolnych, są one przeznaczone dla użytkowników wchodzących w system. Sloty mogą być również rezerwowane dla wiadomości tekstowych lub danych z urządzeń zewnętrznych. Stacja bazowa może pracować metodą autonomiczną, jak i kontrolowaną. Metoda kontrolowana może być używana wewnątrz strefy pracy danej stacji. Nawet, jeśli w tej strefie transponder pracuje metodą autonomiczną, stacja może ją zmienić na kontrolowaną. W chwili, gdy transponder przestaje odbierać sygnały ze stacji, automatycznie przechodzi na pracę metodą autonomiczną. Przeważnie stacja bazowa pracuje metodą autonomiczną, wyjątek stanowi transmisja poprawek różnicowych, dla których ustala odpowiednie sloty.

2. WSTĘPNA ANALIZA DOKŁADNOŚCI ZASTOSOWANEGO SYSTEMU POZYCJONOWANIA

W celu porównania dokładności wyznaczenia pozycji systemu pokładowego systemu pozycjonowania niezbędna była znajomość dokładnej i wiarygodnej – „prawdziwej” pozycji samolotu. Pozycję taką dla każdej sekundy lotu wyliczono jako średnią arytmetyczną z trzech niezależnych wyznaczeń OTF (ang. On-the-Fly), w trybie post-processing. W tym celu na pokładzie samolotu Cessna 172 (w kokpicie za szybą) umieszczono odbiornik geodezyjny firmy Topcon HiPer Pro, który rejestrował surowe pomiary satelitarne z interwałem 1 sekundy. Stacjami referencyjnymi były 3 punkty rozmieszczone równomiernie wzdłuż trasy lotu: Ref1, VirA, VirB (rys. 4).

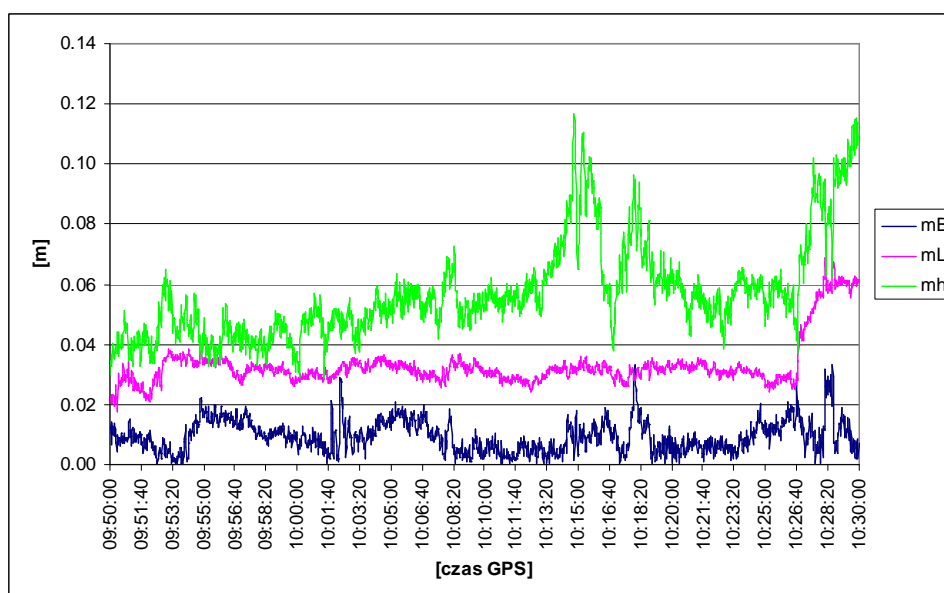


Rys. 4. Trasa lotu samolotu Cessna 172 oraz rozmieszczenie trzech stacji bazowych

Przy czym stacja Ref1 była stacją fizyczną umieszczoną na lotnisku w Dęblinie, na której pracował odbiornik geodezyjny firmy Topcon HiPer Pro, 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.

Obliczeń dokonano przy użyciu programu AOSS (Ashtech Office Suite for Survey), wyznaczając pozycję samolotu dla każdej epoki lotu w trybie OTF (ang. On-the-Fly), w odniesieniu do trzech niezależnych stacji bazowych – REF1, 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).

Średnie błędy współrzędnych B, L, h dla pozycji odniesienia wyniosły ok. 2-3 centymetrów dla współrzędnych horyzontalnych oraz ok. 6-7 centymetrów dla współrzędnej wertykalnej. Uzyskane rezultaty na każdą sekundę lotu prezentuje rysunek 5 [8].

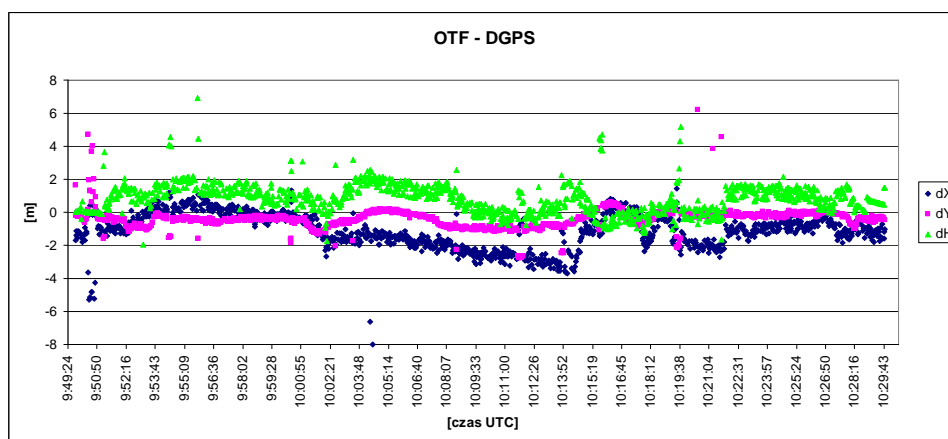


Rys. 5. Błędy średnie współrzędnych B, L, h obliczone na każdą sekundę lotu układu odniesienia dla pokładowego systemu pozycjonowania

Mając dokładnie wyznaczone pozycje samolotu na każdą sekundę lotu możliwe było określenie dokładności pokładowego systemu zainstalowanego na pokładzie samolotu Cessna. Odbiornik pokładowy podczas testu pracował w trybie DGPS, odbierając poprawki z lokalnej stacji referencyjnej zlokalizowanej na terenie Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych w Dęblinie. Po odpowiednim przeliczeniu porównano otrzymane współrzędne ze współrzędnymi zarejestrowanymi przez badany odbiornik pokładowy. W

trakcie porównania okazało się, że dane te posiadają liczne braki. W danych występują bardzo często przerwy, które wynoszą od 1 do 7 sekund. Dokładne porównanie wykazało, że na 2400 sekund lotu, wyznaczone pozycje uzyskano dla 1070 epok pomiarowych, natomiast dla 1330 epok nie uzyskano danych dotyczących pozycji samolotu.

Uzyskane dokładności są dość zadowalające, poza kilkunastoma przypadkami, gdzie system błędnie określił czas pomiaru. Błąd czasu we wszystkich tych przypadkach wynosił 1 sekundę, co dało błąd horyzontalny w granicach 20-70 metrów. Wykres z porównania współrzędnych ze współrzędnymi odniesienia przedstawiono na rysunku 6 [8].



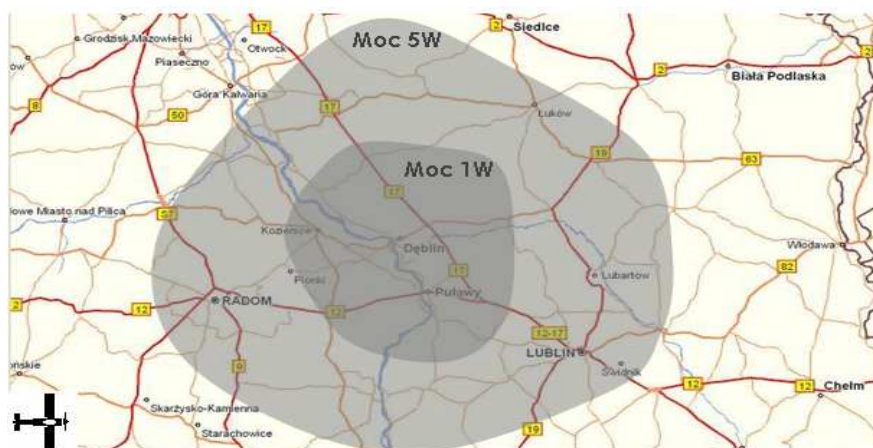
Rys. 6. Różnica między pozycją odniesienia, a pozycją systemu pozycjonowania

Na rysunku tym widać, że dokładności dla poprawnie wyznaczonych epok pomiarowych wynoszą ok. 1-3 metrów zarówno dla pozycji horyzontalnej jak i wertykalnej. Jest to wynik satysfakcjonujący dla tego typu aplikacji. Natomiast sprawa braku ciągłości w wyznaczaniu pozycji przez badany odbiornik z zakładaną dokładnością wynika z błędów w zaprojektowanym oprogramowaniu. Dlatego trwają prace związane z wyeliminowaniem wspomnianych błędów.

3. WSTĘPNA ANALIZA ZASIĘGU SYSTEMU MONITORINGU STATKÓW POWIETRZNYCH I POJAZDÓW

Jednym z istotnych elementów badanego systemu jest linia transmisji danych pomiędzy użytkownikami systemu. Jej niezawodność, odpowiedni zasięg gwarantuje użyteczność, przydatność badanego systemu. Zgodnie z przyjętymi założeniami, w ramach projektu, postanowiono wykonać badania zasięgu systemu przy pomocy różnych mediów transmisji. W związku z przeznaczeniem systemu i potrzebą jego suwerenności, jako podstawowe medium transmisji przyjęto zakres fal VHF i UHF, telefonię GSM potraktowano jako zapasową (awaryjną). We wstępnych badaniach do testów użyto standardowych modemów UHF Sateline na częstotliwości transmisji 460 MHz i mocy regulowanej od 1 do 10 W. Modemy te zamontowano zarówno na samolotach, jak i na samochodach. Następnie zaplanowano i wykonano szereg jazd i lotów testowych w celu określenia zasięgu

poprawnej transmisji danych. W testach regulowano moc nadajników. Loty testowe wykonano na wysokościach od 100 do 1000 m, ponieważ ten przedział wysokości jest najczęściej wykorzystywany przez lotnictwo służb porządku publicznego. Poniższe rysunki przedstawiają uzyskany zasięg w zależności od mocy 1 i 5 W na wysokości lotu H-300 m [4].



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



Rys. 8. Zasięg transmisji danych w relacji samochód - stacja naziemna, moc 1 i 5 W

Zostały one obliczone dla samolotu Cessna 172 przy prędkości transmisji 19200 bps. We wstępnych testach wykorzystano modulację FSK, pasmo 25 kHz, typ emisji F1D. Z poniższych rysunków widać, że zasięg systemu monitorowania ruchu obiektów z

wykorzystaniem GNSS jest w miarę równy we wszystkich kierunkach zarówno dla samolotów jak i samochodów i wynosi odpowiednio dla samolotu przy mocy równej 1W – około 20-25 km, dla mocy równej 5 W – około 50-60 km, natomiast dla samochodu przy mocy równej 1W – około 10-12 km, dla mocy równej 5 W – około 17-20 km. Reasumując, otrzymane zasięgi mogą być satysfakcjonujące dla samolotu. Natomiast w przypadku samochodu należy zwikszy moc nadajnika do 10 W. Z założeń projektowych wynika, że system powinien mieć zasięg około 100 -150 km. Dlatego kolejne testy zostaną przeprowadzone dla większej mocy nadajnika oraz z wykorzystaniem innych urządzeń w paśmie VHF.

Docelowo przewiduje się wykorzystanie dedykowanych zestawów nadawczo-odbiorczych z wykorzystaniem pasma fal krótkich i techniki DRM (ang. Digital Radio Mondiale), zwanej popularnie radiofoni cyfrową. Technika ta ma wiele zalet w stosunku do powszechnie wykorzystywanej techniki FM, do najważniejszych należy zaliczy duży zasięg przy stosunkowo małej mocy, poprawny odbiór sbrych sygnałów z ma stop bdu, wysoką jako i prdko transmisji w bardzo wąskim paśmie przenoszenia 10 kHz oraz odporno na zaniki selektywne i efekt Dopplera.

WNIOSKI

Ze wstępnych badań wynika, że zastosowane urządzenia i oprogramowanie w poszczglnych komponentach systemu monitoringu ruchu statków powietrznych i pojazdów, w znacznej częsci, spełniają określone założenia. Odnosi się to zarówno do uzyskanej dokładności systemu pozycjonowania, jak i zasięgu linii transmisji danych. Jednak funkcjonowanie pewnych elementów należy poprawi. Najwięcej problemów podczas testów sprawiło przesylanie komunikatów tekstowych pomiędzy użytkownikami oraz przerwy w transmisji danych o pozycji. Ponadto zasięg transmisji danych dla samochodów jest niewystarczający. Dlatego w kolejnych testach uwaga zostanie zogniskowana na wyeliminowanie zauważonych bdw oraz testowanie transmisji z wykorzystaniem innych częstotliwości (VHF) i techniki DRM.

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

BIBLIGRAFIA

- [1] Akademie de Marine, Akademie Nationale de I Air et de I Espace; *System nawigacyjny Galileo*, WKŁ, Warszawa 2006.
- [2] wiklak J.: *Wykorzystanie techniki satelitarnej w kontroli ruchu lotniczego w przestrzeni powietrznej Rzeczypospolitej Polskiej, rozprawa doktorska*, Olsztyn 2002, UWM.
- [3] wiklak J., Grzegorzewski M., Jafernik H. *Predykcja pozycji w odbiorniku GPS, III Konferencja GIS i GPS w praktyce*, PWSZ Chełm, 06.11.08.
- [4] wiklak J., *Wstępna analiza zasięgu systemu monitoringu z wykorzystaniem modemów UHF*, Dblin 2010, WSOSP (materiały niepublikowane).
- [5] Gunnar Frisk: *Gate-to Gate Seamless Aviation, Galileo's World*, Spring 2000.
- [6] Kjellberg R., *Capacity and Throughput using a Self Organized Time Division Multiple Access VHF Data Link in Surveillance Applications*, University Stockholm, 1998.

-
- [7] Oszczak S. *Badania nad utworzeniem Satelitarnego Systemu pozycjonowania Nawigacji i Monitowania Pojazdów* – 8 T12E 004 20, Konferencja DESIW Mrągowo - Szczytno 24-26 październik 2005.
- [8] Oszczak S., Ciećko A., *Wstępna analiza dokładności pokładowego system pozycjonowania*, Dęblin 2010, WSOSP (materiały niepublikowane).
- [9] www.drm.org