

Janusz **ĆWIKLAK**¹
Adam **CIEĆKO**²
Marek **GRZEGORZEWSKI**³
Henryk **JAFERNIK**⁴
Stanisław **OSZCZAK**⁵

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

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 wyniki badań z kolejnego etapu realizacji projektu.

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

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 results of studies.

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: jewiklak@wp.pl

² 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: a.ciecko@kgins.pl

³ 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: marekgrzegorzewski@wp.pl

⁴ 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: henrykj21@interia.pl

⁵ 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: oszczak@uni.olsztyn.pl

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 eksploatacji. Stan taki wpływa negatywnie zarówno na bezpieczeństwo lotów, jak i efektywność prowadzonych akcji.

Skupiając uwagę na zarządzaniu w sytuacjach kryzysowych, okazuje się, że prowadzono badania systemu śledzenia pojazdów biorących udział w akcji ratowniczej[4]. Jednak w badaniach tych pominięto lotnictwo, którego specyfika działań jest inna i wymaga odrębnych badań.

Ponadto jak wynika z wywiadów przeprowadzonych wśród personelu służb porządku publicznego istnieje zapotrzebowanie na kompleksowy system nie tylko śledzenia, ale i koordynacji działań. Zarówno 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 urządzeń telekomunikacyjnych [2]. 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 urządzenia 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 śledzenia ruchu statków powietrznych w locie i na ziemi oraz pojazdów służb porządku publicznego. Idea systemu monitoringu statków powietrznych z wykorzystaniem systemów nawigacji satelitarnej wpisuje się w koncepcję wykorzystania GNSS w lotnictwie zarówno w Europie, jak i na świecie. Ponadto jednym z głównych zadań budowanego przez Unię Europejską satelitarnego systemu nawigacyjnego GALILEO jest wspieranie akcji związanych z bezpieczeństwem poszczególnych państw Unii i ich obywateli [1].

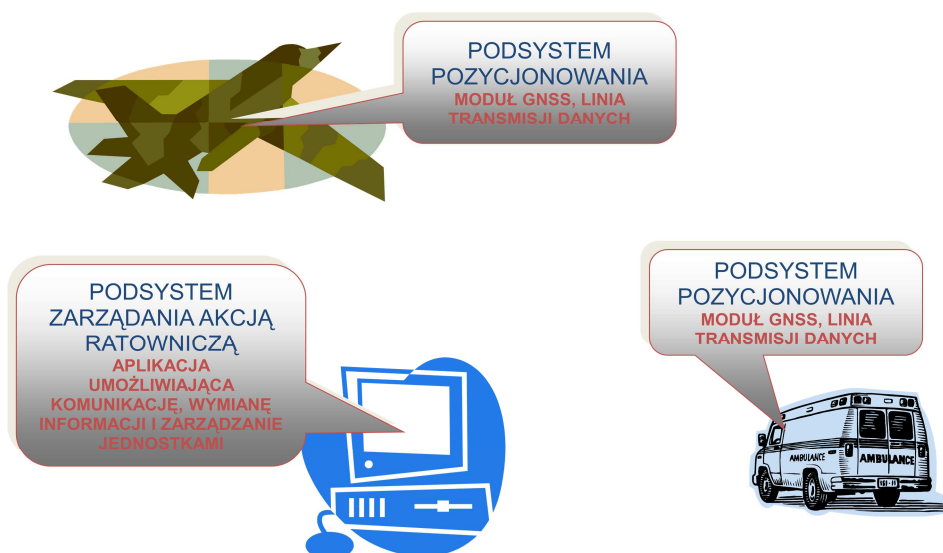
2. PRZEZNACZENIE I ARCHITEKTURA SYSTEMU

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 trzech podstawowych elementów (rys. 1):

- systemu mobilnego montowanego w pojazdach i statkach powietrznych,
- systemu transmisji danych;
- 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 (pożar, wypadek itp.), które będą przekazywane automatycznie do systemów mobilnych. Ponadto aplikacja umożliwia zarządzanie akcją ratowniczą między innymi poprzez komunikację 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.

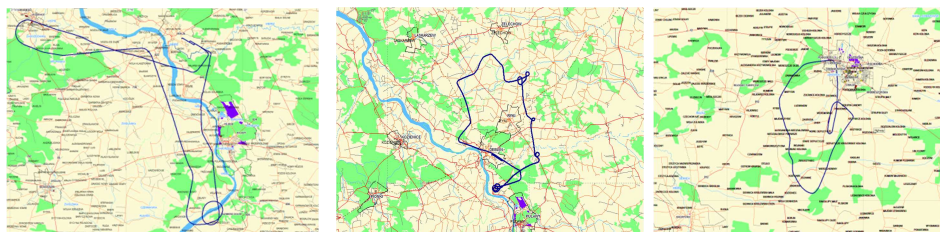
Istotnym elementem systemu jest obieg informacji w czasie rzeczywistym pomiędzy poszczególnymi komponentami systemu. Idea ta pozwala każdemu użytkownikowi systemu obserwować na ekranie (na bieżąco) inne obiekty uczestniczące w akcji. Sposób ten pozwala na szybkie i racjonalne podejmowanie decyzji bez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

3. ANALIZA DOKŁADNOŚCI ZASTOSOWANEGO SYSTEMU POZYCJONOWANIA

Wykonanie lotów i jazd testowych miało między innymi na celu dokładne sprawdzenie łącza radiowego oraz wyznaczenie dokładności, ciągłości i dostępności tworzonego systemu. Podczas prac badawczych zarejestrowano trajektorie samolotu oraz samochodu, a uzyskane wyniki badań posłużyły do analiz dokładnościowych systemu monitorowania ruchu statków powietrznych i pojazdów. Do analizy wybrano 6 niezależnych lotów wykonanych różnymi samolotami (Cessna 172 RG, Cessna 172 N, Cessna 152 II, na lotniskach w Dęblinie oraz w Chełmie oraz jazdy testowe samochodu Nissan Pathfinder.

3.1. Analiza dokładności systemu pozycjonowania montowanego na samolotach

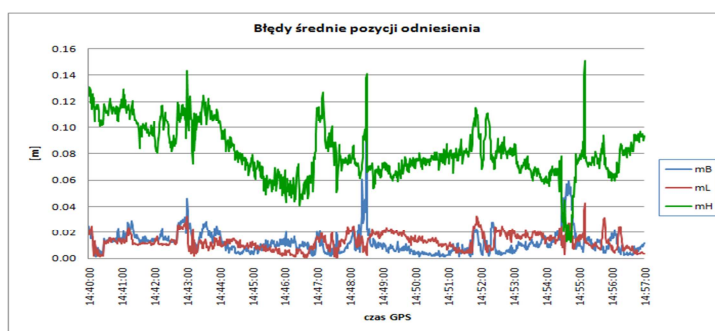
Wykorzystanie w pracach badawczych różnych typów samolotów na lotniskach w Dęblinie i Chełmie miało na celu przebadanie systemu w różnych warunkach, ustawieniach i konfiguracjach. Trajektorie analizowanych lotów na tle podkładu mapowego zaprezentowano na rysunku 2.



Rys. 2. Trajektorie wybranych lotów eksperymentalnych

Podobnie jak podczas poprzedniego etapu badań [3], po zarejestrowaniu surowych danych pomiarowych przystąpiono do szczegółowych analiz zarejestrowanego materiału badawczego. Pierwszym etapem obliczeń, określenia dokładności wyznaczenia pozycji statku powietrznego za pomocą odbiornika GNSS firmy Samset było określenie dokładnej i wiarygodnej – pozycji odniesienia („prawdziwej”) samolotu. Pozycję taką dla każdej sekundy lotu wyliczono jako średnią arytmetyczną z trzech niezależnych wyznaczeń OTF (On-the-Fly) w trybie post-processing. 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 3 punkty rozmieszczone równomiernie wzdłuż tras lotów. 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. Trzy autonomiczne pozycje OTF umożliwiły wyznaczenie błędu średniego uśrednionej pozycji dla każdej sekundy lotu.

Średnie błędy współrzędnych B, L, h dla pozycji odniesienia samolotu wyniosły średnio kilka centymetrów dla współrzędnych horyzontalnych oraz kilka-kilkanaście centymetrów dla współrzędnej wertykalnej. Uzyskane rezultaty na każdą sekundę lotu prezentuje rysunek 3.



Rys. 3. Błędy średnie współrzędnych B, L, h układu odniesienia

Mając obliczone dokładne pozycje samolotu (dokładność centymetrowa) 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. Anteny GNSS systemu monitorującego w samolotach Cessna 172 RG oraz Cessna 172 N zostały zamontowane na stałe i umiejscowione są w tylnej części kadłuba. Rozmieszczenie anten GNSS zaprezentowano na rysunku 4.



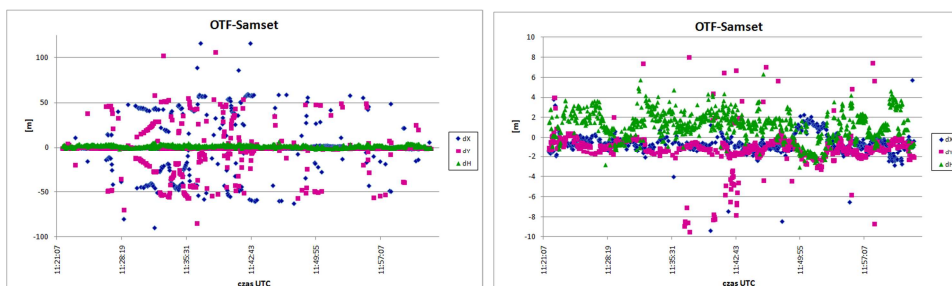
Rys. 4. Rozmieszczenie anten GNSS podczas lotów testowych

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.

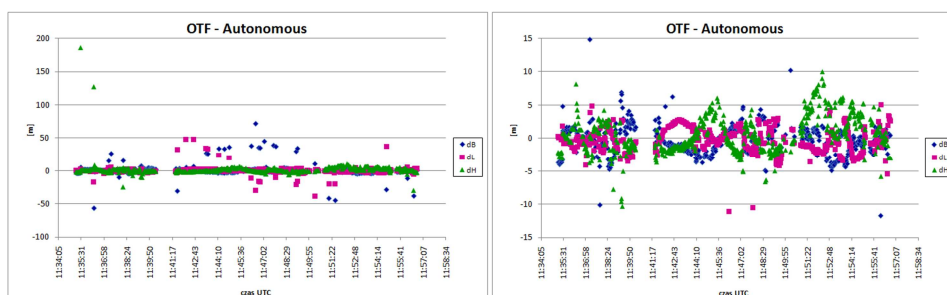
Po geodezyjnym ujednoczeniu współrzędnych systemu monitorującego oraz współrzędnych odniesienia dokonano porównania. W trakcie porównań okazało się, że dane z systemu dyspozytorskiego monitoringu we wszystkich rozpatrywanych lotach posiadają liczne braki. W danych występują często przerwy aktualnych pozycji samolotu, które wynoszą od 1 do nawet 275 sekund, przy czym średnia długość przerwy wynosiła kilka sekund. Dokładna analiza wykazała, że najdłuższa zarejestrowana przerwa, trwająca ok. 4,5 minuty była spowodowana granicą zasięgu łącza UHF. Przerwa ta wystąpiła na najdalej na północ wysuniętym fragmencie lotu 1 w dniu 26.07.2010 w Dęblinie.

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. 5). 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. 6).



Rys. 5. Różnice pomiędzy pozycją odniesienia, a pozycją (DGNSS) systemu Samset



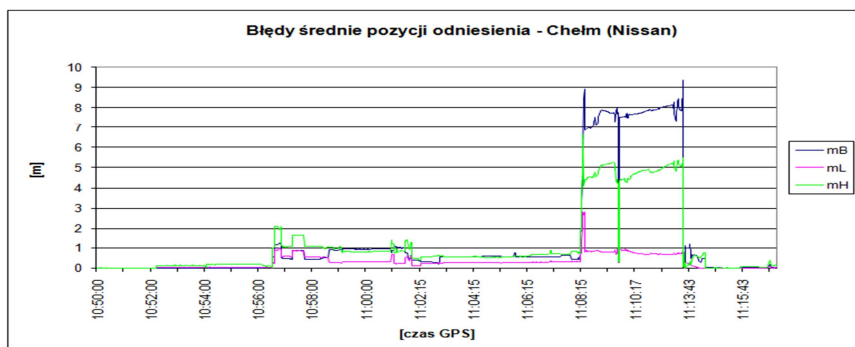
Rys. 6. Różnice pomiędzy pozycją odniesienia, a autonomiczną pozycją systemu Samset (10.09.2010 – Chełm)

3.2. Analiza dokładności systemu pozycjonowania montowanego na samochodzie

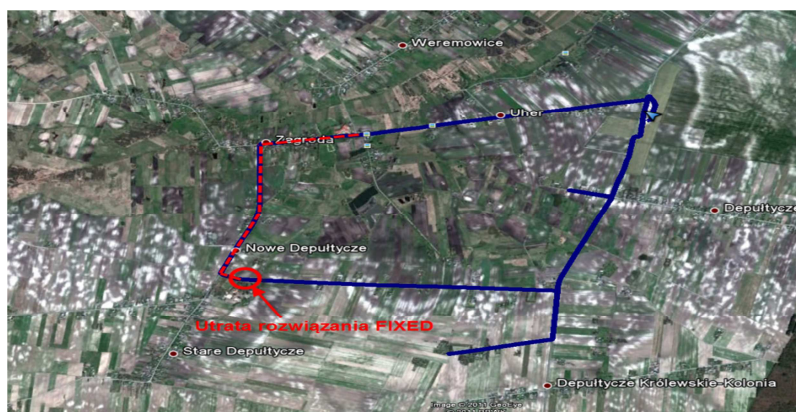
W celu określenia dokładności wyznaczenia pozycji samochodu za pomocą odbiornika GNSS firmy Samset zastosowano metody wykorzystywane w lotach eksperymentalnych. Średnie błędy współrzędnych B, L, h dla pozycji odniesienia wyniosły średnio od kilku centymetrów do 1-go metra, jednakże podczas kilku minut przejazdu (od 11:08:15 do 11:12:05 – czas UTC) błąd odniesienia wyniósł 1-9 metra dla współrzędnych horyzontalnych oraz ok. 5 metrów dla współrzędnej wertykalnej – rysunek 7. Uzyskanie znacznie gorszych dokładności pozycji odniesienia w stosunku do wyników uzyskanych podczas lotów testowych wynikało głównie z zasłoniętych terenowych (drzewa, budynki, etc.) zasłaniających częściowo sferę niebieską, będących przyczyną ciągle zmieniającej się konstelacji satelitów. Szczególnie niekorzystne są zasłony i przeszkody od strony południowej, powodujące największy spadek dokładności.

Dokładna analiza kilkumetrowego błędzie uzyskanego podczas przejazdu wykazała, że utrata rozwiązania typu FIXED nieoznaczoności, a nawet pozycji nastąpiła w części południowo- zachodniej trajektorii. Po utracie łączności z satelitami odbiornik odzyskał wprawdzie po kilku sekundach pozycję, która niestety była niestabilna przez kolejne 4

minuty. Miejsce utraty rozwiązania FIXED oraz trajektorię z niestabilną pozycją zaprezentowano na rysunku 8.



Rys. 7. Błędy średnie współrzędnych B, L, h obliczone na każdą sekundę przejazdu



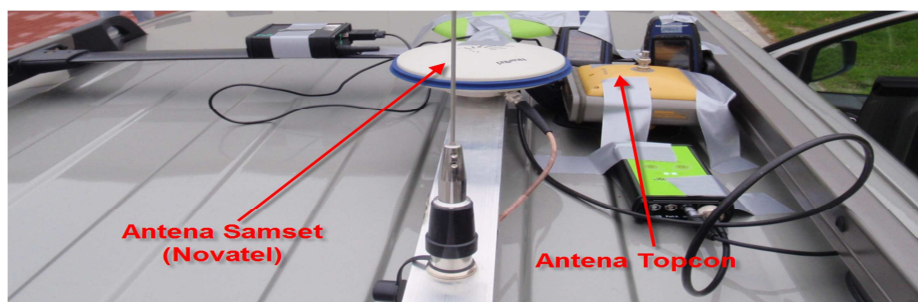
Rys. 8. Trajektoria przejazdu samochodu wraz z fragmentem niestabilnego pozycjonowania – czerwona linia przerywana

Mając wyznaczone pozycje samochodu z dokładnością metrową na każdą sekundę przejazdu możliwe było określenie dokładności systemu Samset zainstalowanego w samochodzie Nissan Pathfinder. Odbiornik GNSS firmy Samset podczas testu pracował w trybie autonomicznym – nie odbierał poprawek ze stacji referencyjnej. Szczegółowe dane dotyczące trajektorii przejazdu zarejestrowane zostały na serwerze systemu dyspozytorskiego. „Przenośny” system dyspozytorski do celów testowych został zainstalowany w hangarze lotniczym Szkoły w Chełmie. Antenę radiową systemu dyspozytorskiego umożliwiającą łączność z jednostką ruchoma umieszczono na dachu hangaru. Docelowo system dyspozytorski (stacjonarny lub przenośny) będzie znajdował się w siedzibach służb porządku publicznego, na stanowiskach kierowania poszczególnych

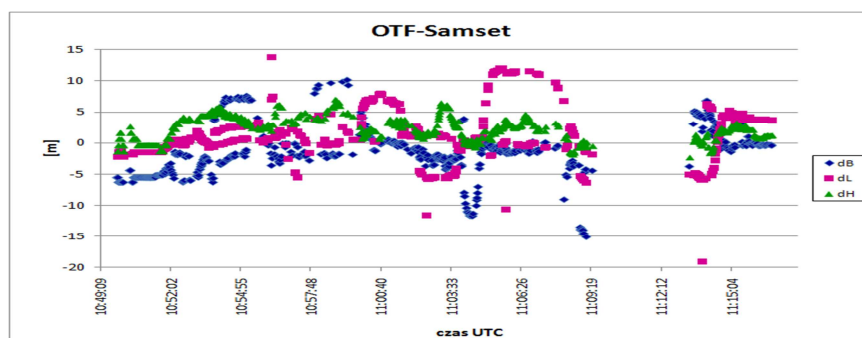
służb oraz w centrum dowodzenia akcją ratowniczą (centrum kryzysowe gminy, powiatu, itp.).

Samochód Nissan biorący udział w testach jest na stałe wyposażony w system monitorowania firmy Samset. Antena odbiornika geodezyjnego – Topcon została umieszczona obok anteny (Novatel) systemu Samset – na dachu samochodu, co ułatwiło dalsze porównania – rysunek 9.

Po geodezyjnym przeliczeniu współrzędnych porównano otrzymane współrzędne ze współrzędnymi dostarczonymi przez firmę Samset. W trakcie porównania okazało się, że dane z systemu dyspozytorskiego posiadają liczne braki. W danych występują często przerwy w generowaniu aktualnych pozycji samochodu, które w trakcie eksperymentu wyniosły od kilku do nawet kilkudziesięciu sekund. Najdłuższą przerwę (238 sekund) zaobserwowano w godzinach od 11:09:24 do 11:13:22 (czas UTC), przerwa ta praktycznie pokryła się z niestabilną pozycją geodezyjną zaznaczoną na rysunku 8. Dokładne porównanie wykazało, że na 1527 sekund testu wyznaczone pozycje uzyskano dla 616 epok pomiarowych – 40%, natomiast dla 911 epok (60%) nie uzyskano danych dotyczących pozycji samochodu. Mniejsza liczba wyznaczonych epok, w odniesieniu do wcześniejszych testów była spowodowana przeszkodami terenowymi, które poza ograniczeniem sfery niebieskiej ograniczają również łączność radiową pomiędzy jednostką mobilną i centrum monitorującym.



Rys. 9. Rozmieszczenie anten GNSS na dachu samochodu Nissan



Rys. 10. Różnica między pozycją odniesienia, a pozycją systemu Samset

Uzyskane dokładności są dość zadowalające, poza kilkunastoma przypadkami, gdzie system błędnie określił czas pomiaru. Błąd czasu w tych przypadkach wynosił tylko 1 sekundę, co w przypadku samochodu nie przekłada się na wysokie wartości błędów.

Wykres z porównania współrzędnych systemu ze współrzędnymi odniesienia przedstawiono na rysunku 10. Dokładności które osiągnięto wyniosły ok. 4-10 metrów dla pozycji horyzontalnej oraz 3-6 metrów dla pozycji wertykalnej.

4. WNIOSKI

Z przeprowadzonych badań wynika, że zastosowane urządzenia i oprogramowanie w poszczególnych komponentach systemu monitoringu ruchu statków powietrznych i pojazdów, w znacznej części, spełniają określone założenia. 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 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.

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

5. BIBLIGRAFIA

- [1] Akademie de Marine, Akademie Nationale de l'Air et de l'Espace; *System nawigacyjny Galileo*, WKŁ, Warszawa 2006.
- [2] Ćwiklak J., Grzegorzewski M., Jafern H. *Predykcja pozycji w odbiorniku GPS, III Konferencja GIS i GPS w praktyce*, PWSZ Chełm, 06.11.08.
- [3] Ćwiklak J., *Monitorowanie ruchu statków powietrznych i pojazdów służb porządku publicznego z wykorzystaniem GNSS cz. I*, Logistyka, Nr 6/2010
- [4] Oszczak S. *Badania nad utworzeniem Satelitarnego Systemu pozycjonowania Nawigacji i Monitorowania Pojazdów – 8 T12E 004 20*, Konferencja DESIW Mrągowo - Szczytno 24-26 październik 2005.