

Zdzisław ROCHALA¹

POKŁADOWY SYSTEM AKWIZYCJI DANYCH Z PRZETWORNIKAMI INTELIGENTNYMI DLA BEZPILOTOWEGO STATKU POWIETRZNEGO

W referacie przedstawiono wnioski z prowadzonego w Zakładzie Awioniki i Uzbrojenia Lotniczego Wydziału Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej w latach 2007-2010 projektu badawczego nr ON50900363. Ponieważ celem projektu było opracowanie koncepcji i realizacja systemu akwizycji danych przeznaczonego do badań w locie bezpilotowych statków powietrznych klasy „mini” w artykule zaprezentowano koncepcję systemu awionicznego oraz opisano rozwiązania sprzętowe rozproszonego systemu pomiarowego służącego do akwizycji danych z przetworników inteligentnych. Zgromadzone podczas lotu sterowanego przez operatora dane potwierdziły poprawności działania poszczególnych składowych systemu akwizycji danych.

ON - BOARD DATA ACQUISITION SYSTEM WITH INTELLIGENT TRANSDUCERS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLE

This article shows results of research project number ON50900363 conducted at Faculty of Avionics and Air Armament at Military University of Technology in years 2007 – 2010. The main purpose of this work was to develop and implement acquisition system for in flight research. Idea of avionics system and hardware realization of distributed measurement system destined to acquire data from an intelligent transducers mounted on a mini UAV is presented within this paper. Data collected during radio controlled flight proves that all elements of data acquisition system works correctly.

1. WSTĘP

Podstawową zaletą samolotów bezpilotowych jest możliwość wykonywania autonomicznych lub zdalnie sterowanych lotów w warunkach, w których użycie pilotowanych statków powietrznych jest niemożliwe, zbyt trudne lub ekonomicznie nieuzasadnione. Dotyczy to w szczególności zadań wysokiego ryzyka, które mogą zostać wykonane bez narażania życia ludzkiego. Niewysokie koszty projektowania, produkcji

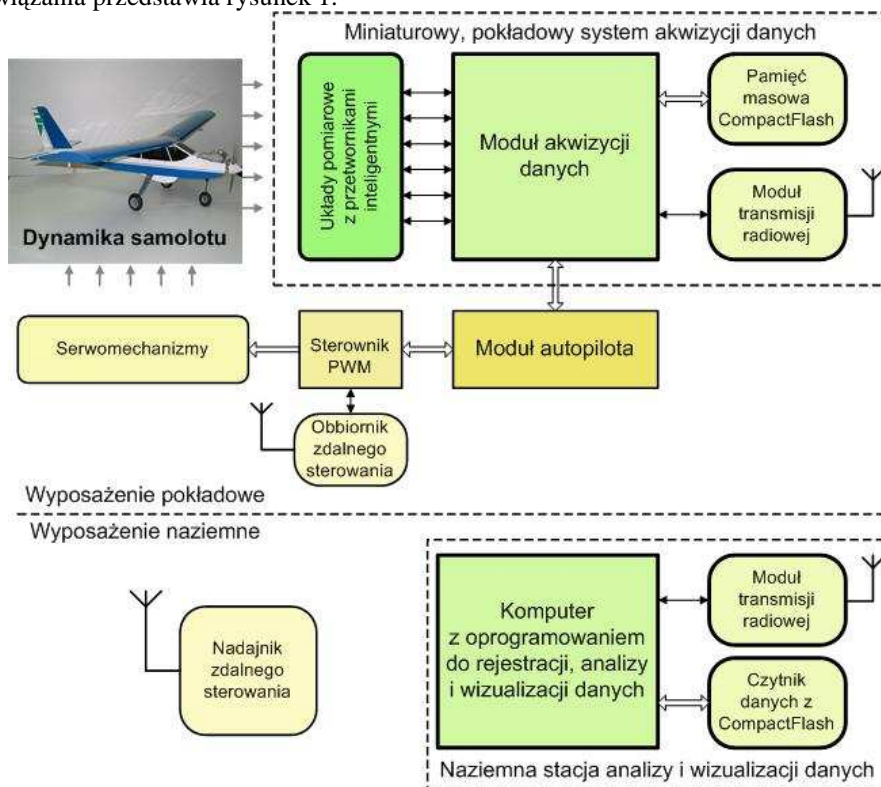
¹ Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechatroniki, ul. gen. Sylwestra Kaliskiego, 00-908 Warszawa
tel: + 48 22 683-74-83, Fax: + 48 22 683-93-18, e-mail: zdzislaw.rochala@wat.edu.pl

i eksploatacji bezpilotowych statków powietrznych czynią z tych obiektów bardzo atrakcyjną alternatywę wobec samolotów załogowych.

Aby statki bezpilotowe mogły wykonywać loty autonomiczne należy wyposażyć je w rozbudowane i zaawansowane technologicznie układy sterowania - autopiloty oraz układy pomiarowe dostarczające niezbędnych informacji pilotażowych, nawigacyjnych i diagnostycznych do wykonywania lotu. Tego typu gotowe urządzenia oferowane przez producentów są niezwykle drogie. Ich koszt generowany jest głównie bardzo wysokimi wymaganiami technicznymi oraz wymaganiami bezpieczeństwa. Nie bez znaczenia pozostaje także fakt bardzo kosztownych badań kwalifikacyjnych i certyfikacyjnych takich urządzeń. Uzasadnione jest zatem prowadzenie własnych prac i badań zmierzających do opracowania własnej wersji wyposażenia awionicznego dla bezpilotowych statków powietrznych klasy „mini” - miniBSP.

2. KONCEPCJA SYSTEMU AWIONICZNEGO

Na podstawie analizy literatury przedmiotu [1] oraz doświadczeń własnych zdobytych podczas prowadzonych prac badawczych [2, 3, 4] opracowano koncepcję systemu awionicznego dla bezpilotowego statku powietrznego. Schemat blokowy zaproponowanego rozwiązania przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat blokowy systemu awionicznego bezpilotowego statku powietrznego

Podstawę wyposażenia pokładowego stanowi moduł akwizycji danych dostarczający informacji pilotażowo-nawigacyjnych oraz moduł autopilota generujący sygnały sterujące do sterownika serwomechanizmów. Przyjęto, że ta część systemu awionicznego powinna mieć architekturą rozproszoną. Cechą charakterystyczną powstałego systemu pomiarowego o takiej architekturze jest jego struktura, którą może tworzyć od kilku do kilkunastu modułów pomiarowo-sterujących oraz sieć komunikacyjna, dzięki której możliwa jest wymiana informacji między tymi modułami.

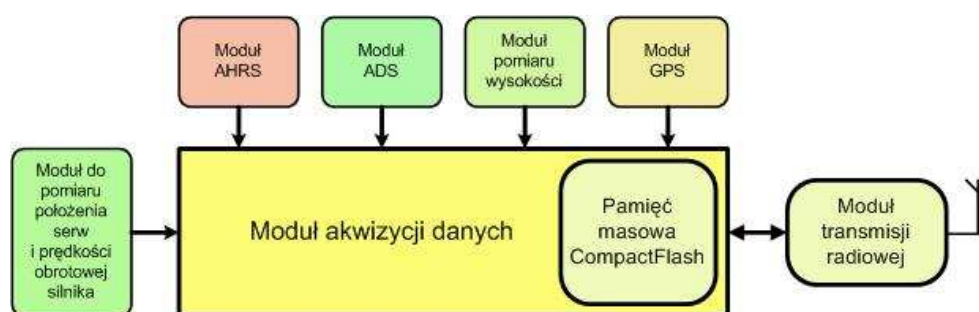
Natomiast najważniejszym elementem wyposażenia naziemnego jest stacja analizy i wizualizacji danych zbudowana na bazie komputerów uniwersalnych. Podstawowym zadaniem stacji naziemnej jest komunikacja z pokładowym systemem akwizycji danych, archiwizacja danych w pamięci zewnętrznej oraz wizualizacja danych pomiarowych.

2. PROJEKT I REALIZACJA POKŁADOWEGO SYSTEMU AKWIZYCJI DANYCH

Ze względu na relatywnie małe udźwigi platform miniBSP (do kilku kilogramów) moduły systemu akwizycji danych powinny charakteryzować się jak najmniejszymi wymiarami zewnętrznymi i masą, niewielkim zapotrzebowaniem na energię elektryczną oraz odpowiednim standardem transmisji danych. Te wymagania spełniają jedynie inteligentne moduły pomiarowe konstruowane na bazie zorientowanych na pomiary układów mikroprocesorowych i nowoczesnych czujników półprzewodnikowych.

Wśród szerokiej gamy specjalizowanych układów scalonych szczególnie predysponowanych do zastosowań w układach akwizycji danych są mikrokontrolery. Mikrokontroler w systemie akwizycji danych jest elementem, który łączy cechy precyzyjnego układu pomiarowego, (posiada wbudowany przetwornik A/C, multiplexer analogowy oraz inne typowo pomiarowe bloki funkcjonalne) i komputera o znacznych możliwościach obliczeniowych. Układy pomiarowe budowane na bazie mikrokontrolerów z częściowo lub całkowicie zintegrowanymi czujnikami nazywane są przetwornikami inteligentnymi.

Na rysunku 2 przedstawiono schemat blokowy zaproponowanego na potrzeby realizacji pracy pokładowego systemu akwizycji danych.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu akwizycji danych do badań miniBSP

Do budowy układu akwizycji danych skorzystano z rozwiązań gotowych, dostępnych na rynku oraz z własnych rozwiązań przetworników inteligentnych zaprojektowanych na bazie mikrokontrolerów i czujników w technologii MEMS spełniające w/w kryteria.

2.1 Charakterystyka zastosowanych przetworników inteligentnych

Zgodnie ze schematem przedstawionym na rysunku 2 źródłem informacji dostarczanej do modułu akwizycji są następujące mikroprocesorowe moduły pomiarowe (przetworniki inteligentne):

- moduł orientacji przestrzennej AHRS (ang. *Attitude Heading Reference System*);
- moduł centrali danych aerometrycznych ADS (ang. *Air Data System*);
- moduł do pomiaru wysokości;
- odbiornik nawigacji satelitarnej GPS (ang. *Global Positioning System*);
- moduł do pomiaru położenia serwomechanizmów i prędkości obrotowej silnika;
- moduł do transmisji radiowej.

W omawianym systemie akwizycji danych do pomiaru przyspieszeń, prędkości kątowych, kątów orientacji przestrzennej i kursu magnetycznego zastosowano gotowe dostępne na rynku miniaturowe układy orientacji typu MTi i 3DM-GX1 produkowane przez firmy Xsens i MicroStrain. W trakcie realizacji projektu opracowano własne, prostsze i tańsze rozwiązanie inercyjnego modułu pomiarowego na bazie dwóch dwuosiowych półprzewodnikowych czujników przyspieszenia, trzech jednoosiowych piezoelektrycznych żyroskopów, półprzewodnikowego czujnika temperatury i czujnika składowych natężenia ziemskiego pola magnetycznego firmy Honeywell umożliwiającego określenie odchylenia od pionu grawitacyjnego. Serce modułu stanowi mikrokontroler z wbudowanymi przetwornikami A/C i C/A, portem do transmisji szeregowej, pamięcią programu i danych.

Do pomiaru podstawowych parametrów środowiska ruchu miniBSP (ciśnienia statycznego i dynamicznego, temperatury powietrza) opracowano własny przetwornik inteligentny (zbudowane na bazie mikrokontrolera i półprzewodnikowych czujników ciśnienia i temperatury) tworzący centralę aerometryczną [5]. Centrala aerometryczna na podstawie autonomicznego pomiaru ciśnień, temperatury oraz opływu powietrza w sposób pośredni wylicza parametry lotu (wysokość i prędkość lotu), jak również aerodynamiczne kąty położenia przestrzennego statku powietrznego względem napływających strug powietrza (kąt natarcia i ślizgu). W zaprojektowanej centrali aerometrycznej ciśnienia całkowite i statyczne przetwarzane są na sygnał elektryczny przez piezorezystancyjne przetworniki ciśnienia statycznego, różnicy ciśnień całkowitego i statycznego oraz rezystancyjny czujnik temperatury. Do pomiaru kątów natarcia i ślizgu zaprojektowano i wykonano czujnik typu „swobodne skrzydełko”. Sygnały wejściowe z czujników pomiarowych zamieniane są na postać cyfrową i dalej przetwarzane przez system mikroprocesorowy z mikrokontrolerem ADuC812 firmy Analog Devices. System ten na podstawie opracowanych algorytmów oraz zależności zawartych w Międzynarodowej Atmosferze Wzorcowej oblicza parametry lotu bezpilotowego statku powietrznego, które wykorzystywane mogą być przez jego systemy pokładowe, m.in. system automatycznego sterowania oraz rejestracji parametrów lotu.

Pomiar rzeczywistej wysokości lotu w przedziale małych wysokości (rzędu 0.15÷8m) zrealizowano na bazie mikrokontrolera i czujników ultradźwiękowych SensComp Series 6500 i Open Face Smart Sensor.

Podstawowe parametry nawigacyjne pozwalające na określenie bieżącego położenia miniBSP w wybranym układzie współrzędnych są pozyskiwane z miniaturowego odbiornika nawigacji satelitarnej. Z dostępnych na rynku odbiorników do badań wykorzystano wysoko wydajny moduł GPS 18–5Hz firmy Garmin udostępniający dane przez port szeregowy w formacie binarnym lub NMEA z częstotliwością 5Hz.

Do pomiaru prędkości obrotowej silnika i śmigła wykorzystano wyłącznik hallotronowy TLE4945L w postaci monolitycznego układu integrującego w jednym chipie element Halla oraz obwód kształtowania sygnału. Natomiast pomiar bieżącego położenia serwomechanizmów realizowany jest metodą pośrednią tzn. poprzez pomiar szerokości impulsów sterujących położeniem serw pobieranych z odbiornika zdalnego sterowania.

Do przesyłania danych z pokładu samolotu zastosowano łączność bezprzewodową z wykorzystaniem radiomodemów. Od kilku lat ten rodzaj komunikacji jest z powodzeniem wykorzystywany w wielu branżach do zdalnego sterowania i zbierania danych z obiektów rozproszonych po dużym obszarze. Do badań zastosowano radiomodemy IP2421 firmy MicroHard umożliwiające transmisję danych w trybie half-duplex i w pełni przezroczyste dla stosowanego protokołu transmisji.

2.1 Rozwiązania modułów akwizycji danych

Na potrzeby badań w locie wykonano trzy rozwiązania sprzętowe modułu akwizycji i jednocześnie rejestracji danych pomiarowych [6]. Pierwsze wykonano w postaci dedykowanego systemu mikroprocesorowego z mikrokontrolerem 8-mio bitowym z rodziny AVR ATmega640 oraz specjalizowanego modułu uALFAT obsługującego zapis danych w formacie FAT16 w pamięci SD. Argumentem, który zdecydował o wyborze mikrokontrolera ATmega640 była ilość dostępnych układów peryferyjnych wbudowanych w jego strukturę, co pozwoliło na uzyskanie właściwej miniaturyzacji urządzenia. Rejestrator może gromadzić dane za pośrednictwem portów szeregowych obsługiwanych przez wbudowany sterownik USART (w standardzie TTL, RS-232/RS-485) lub SPI. Zastosowane rozwiązanie sprzętowe cechuje duża uniwersalność, ponieważ pozwala na użycie dowolnego czujnika inteligentnego komunikującego się interfejsem szeregowym. Do obsługi rejestratora zostało napisane kompleksowe oprogramowanie służące do jego konfigurowania i interpretacji danych.

Do realizacji drugiej wersji rejestratora wybrano rozwiązanie z mikroprocesorem opartym na architekturze ARM (ang. *Advanced RISC Machine*). Przy wyborze procesora kierowano się mocą obliczeniową, ilością i różnorodnością wbudowanych interfejsów i układów peryferyjnych. Zdecydowano się na jednostkę centralną Texas Instruments OMAP3530 należącą do rodziny multimedialnych procesorów Cortex-A8. Procesor ten jest taktowany zegarem 600MHz i posiada wbudowany w strukturę wewnętrzną akcelerator graficzny PowerVR SGX530, umożliwiający rozbudowę rejestratora o moduł graficzny. Dodatkowym atutem przyjętego rozwiązania jest możliwość uruchomienia oprogramowania rejestratora pod kontrolą systemu operacyjnego dla urządzeń wbudowanych Windows CE 6.0.

Wersję trzecią systemu akwizycji zbudowano na bazie uniwersalnego sterownika PC-104 firmy Advantech z wydajnym i energooszczędnym procesorem AMD LX-800 o architekturze x86 pracującym z częstotliwością 500MHz i współpracującym z pamięcią DDR333/400MHz o pojemności 1GB. Dodatkowo sterownik PC pozwala na zapis danych na karcie pamięci Compact Flash, posiada cztery wbudowane porty szeregowo RS-232 i cztery interfejsy USB 2.0 oraz jest wyposażony w system operacyjny Windows Embedded CE. Pozwoliło to na opracowanie wielowątkowej aplikacji realizującej rejestrację danych z czujników inteligentnych w języku C++ i jej uruchomienie pod kontrolą systemu operacyjnego czasu rzeczywistego [7].

Ponieważ wszystkie moduły akwizycji danych korzystają z tego samego zestawu czujników (przetworników inteligentnych) z ustalonym rodzajem interfejsu szeregowego możliwe było testowanie i porównywanie zbudowanych rejestratorów. Mogły być badane w porównywalnych warunkach, gromadząc w tym samym czasie identyczne zestawy danych.

3. BADANIA W LOCIE SYSTEMU AKWIZYCJI DANYCH

Po wykonaniu integracji elementów składowych systemu i przeprowadzeniu badań laboratoryjnych przeprowadzono badania eksperymentalne na pokładzie miniBSP. Opracowano program badań w locie pod kątem możliwości gromadzenia danych na potrzeby identyfikacji własności dynamicznych poszczególnych platform, ze szczególnym zwróceniem uwagi na cechy aerodynamiczne i pilotażowe posiadanych obiektów latających. Badania w locie wykonano w oparciu o dostępne w Instytucie Techniki Lotniczej modele samolotów. Na rysunku 3 pokazano jeden z modeli, na którym prowadzono badania w locie opracowanego systemu akwizycji danych.

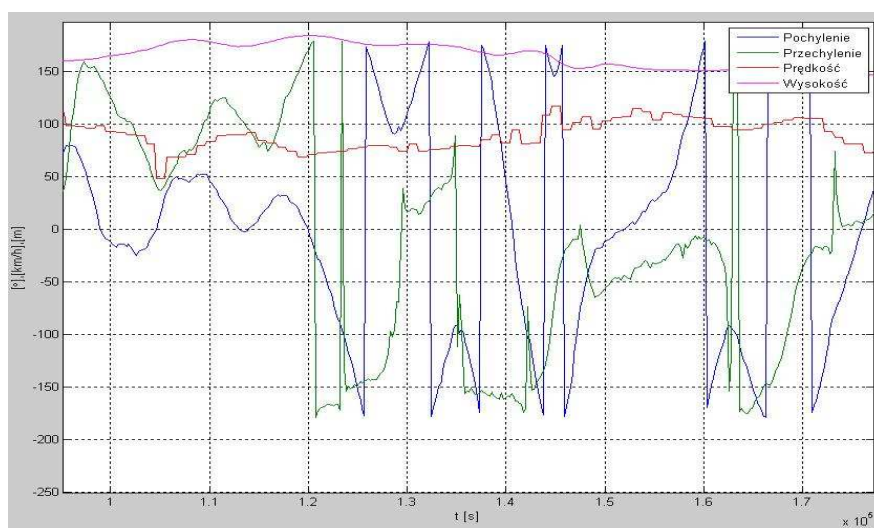


Rys. 3. Widok modelu samolotu podczas badań w locie sterowanym przez operatora

Jest to model samolotu o rozpiętości 3400mm, napędzany silnikiem spalinowym (benzynowym) o pojemności 50cm³, ze śmigłem pchającym. Układ „ramy” (dwie belki ogonowe) zapewnia bezpieczeństwo eksploatacyjne osłaniając niebezpieczną strefę śmigła. Masa własna obiektu wynosi ok. 10kg. Przewidywany udźwig minimalny to 5kg. Szczątkowy kadłub, o dużej pojemności (ok. 5dm³), został przeznaczony dla aparatury badawczej. Tak duża przestrzeń ładunkowa pozwoliła również na zastosowanie systemu amortyzacji dla aparatury badawczej. Dodatkową zaletą zastosowanego układu pchającego jest udostępnienie pełnej przestrzeni wokół przedniej części kadłuba do pomiaru parametrów areometrycznych. Usterzenie ogonowe w układzie odwróconego „V” i trójpodporowe podwozie zapewnia stabilne starty i bezpieczne lądowania.

Podstawowym celem badań była ocena poprawności działania systemu akwizycji oraz jego elementów składowych – poszczególnych przetworników inteligentnych. Loty testowe pozwoliły na weryfikację algorytmów akwizycji, sprawdzenie przyjętej metody archiwizacji i przetestowanie poprawności transmisji danych z pokładu do stacji naziemnej. Szczegółowa ocena realizacji misji możliwa jest po zakończonym locie i odczytaniu danych bezpośrednio z pamięci modułu akwizycji. W zależności od wersji rejestratora dane gromadzone są w wymiennej pamięci SD lub Compact Flash. Zastosowanie standardowych kart pamięci pozwala na łatwe przenoszenie danych po wylądowaniu do naziemnej stacji analizy i wizualizacji danych.

Oprogramowanie stacji naziemnej [8] zostało wykonane z wykorzystaniem pakietu Visual Studio 2008 i języka wysokiego poziomu stosowanego w oprogramowaniu do obliczeń naukowych i inżynierskich – Matlab. Pozwala na prezentację danych w postaci liczb i w postaci przebiegów graficznych odzwierciedlających zmianę poszczególnych parametrów w funkcji czasu. Na rysunku 4 pokazano przykład zastosowania powstałej aplikacji [9] do zobrazowania czterech parametrów zapisanych w locie testowym.



Rys. 4. Przykładowe wyniki z badań w locie systemu akwizycji

3. WNIOSKI

Głównym celem prezentowanej pracy było przeprowadzenie analiz teoretycznych dotyczących możliwości pozyskiwania danych z różnorodnych czujników zainstalowanych na pokładzie miniBSP oraz przeprowadzenie eksperymentów praktycznych mających na celu opracowanie metodyki pozyskiwania, przetwarzania i wykorzystania danych cyfrowych z przetworników inteligentnych.

W ramach projektu zweryfikowano wykonalność poszczególnych elementów systemu akwizycji i ich przydatność w dostarczaniu danych do naziemnej stacji analizy i wizualizacji. Zgromadzone dane będą wykorzystane do identyfikacji własności dynamicznych i parametrów koniecznych do opracowania modelu i syntezy układu automatycznego sterowania dla tej klasy statków powietrznych.

Zaprezentowany w powyższym opracowaniu miniaturowy, pokładowy system akwizycji danych - demonstrator technologii, stanowi źródło danych pilotażowych i nawigacyjnych dla systemu sterowania bezzałogowych statków powietrznych.

4. BIBLIOGRAFIA

- [1] *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005*, Office of the Secretary of Defence, 2005
- [2] Rochala Z.: *Ocena realizacji misji obiektu bezpilotowego na podstawie danych z lotu*, Międzynarodowa Konferencja „Naukowe aspekty bezpilotowych aparatów latających”, Zeszyty naukowe Politechniki Świętokrzyskiej nr 80 str. 385-392, Kielce-Cedzyna 19-21 maj 2004.
- [3] Rochala Z.: *Miniaturowy układ stabilizacji lotu dla bezpilotowego statku powietrznego*, X Krajowa Konferencja „Automatyzacja i eksploatacja systemów sterowania i łączności”, Monografia ISBN 83-87280-79-8 str. 434-441, Gdynia-Jastarnia 12-14 październik 2005.
- [4] Homziuk A., Rochala Z., Sobieraj W.: *Problemy sterowania miniaturowymi bezzałogowymi statkami powietrznymi*, Journal of Aeronautica Integra nr 1, Rzeszów 2008, str. 45-50.
- [5] Falkowski K., Henzel M., Rochala Z.: *Centrala danych aerometrycznych dla bezpilotowego statku powietrznego*, Materiały VI Konferencji Awioniki, Bezmiechowa, 16-18 września 2010.
- [6] Brzozowski B., Gluziński T., Rochala Z.: *Techniki realizacji pokładowych systemów akwizycji danych do badań miniBSP*, Materiały IV Międzynarodowej Konferencji „Naukowe Aspekty Bezzałogowych Aparatów Latających”, str. 74-82, Suchedniów, 5-9 maj 2010.
- [7] Brzozowski B., Rochala Z., Wojtowicz K.: *Wielowątkowa aplikacja do akwizycji danych z czujników i urządzeń pokładowych bezpilotowego statku powietrznego*, Materiały VI Konferencji Awioniki, Bezmiechowa, 16-18 września 2010.
- [8] Kaźmierczak K., Rochala Z., Wojtowicz K.: *Przykład interfejsu graficznego naziemnej stacji bazowej dla system bezpilotowego*, Materiały VI Konferencji Awioniki, Bezmiechowa, 16-18 września 2010.
- [9] Kaźmierczak K., Rochala Z., Wojtowicz K.: *Analiza i wizualizacja danych z badań w locie miniBSP*, Materiały IV Międzynarodowej Konferencji „Naukowe Aspekty Bezzałogowych Aparatów Latających”, str. 303-310, Suchedniów, 5-9 maj 2010.