

## MONITOR MAGISTRALI CAN SYSTEMU POŚREDNIEGO STEROWANIA SAMOLOTEM PZL-110

Paweł RZUCIDŁO

Politechnika Rzeszowska, Katedra Awioniki i Sterowania  
35-959 Rzeszów, Al. Powstańców Warszawy 8, tel./fax: (17) 8544319, email: pawelrz@prz.edu.pl

### Streszczenie

W eksperymentalnym systemie pośredniego sterowania SPS-1<sup>1</sup> samolotem PZL-110 „Koliber” zastosowano magistralę danych CAN. Pozwala ona na wymianę informacji pomiędzy poszczególnymi urządzeniami. Monitorowanie pakietów danych pojawiających się na magistrali może być bardzo pomocne w trakcie badań pojedynczych urządzeń, podczas integracji systemu, badań laboratoryjnych jak i w trakcie prób w locie. W niniejszym opracowaniu przedstawiono narzędzie do monitorowania magistrali CAN, które rozwijano równolegle z systemem pośredniego sterowania samolotem i wykorzystywano w kolejnych etapach prac nad nim. Głównym elementem systemu monitorującego jest oprogramowanie. Pozwala ono nie tylko na podgląd, rejestrację i wstępną obróbkę danych lecz również umożliwia sterowanie poszczególnymi urządzeniami, symulację wybranych modułów sprzętowych i diagnostykę magistrali.

Słowa kluczowe: monitorowanie, rejestracja, sterowanie pośrednie, CAN, badania w locie.

### CAN BUS MONITOR OF THE FLY-BY-WIRE CONTROL SYSTEM USED ON PZL110 AIRCRAFT

#### Summary

The CAN data bus was used in the project of the experimental Fly-by-Wire control system (SPS-1) mounted on the board of PZL-110 “Koliber” general aviation aircraft. This solution allows to free communication between individual modules of system. Monitoring of the bus state and data frames is useful during particular hardware tests, system integration, laboratory and in-flight tests. This report intends to present specific monitor tool developed simultaneously to SPS-1. Main part of CAN monitoring system is software. It realizes acquisition, visualization and conversion of booked data. Beside of it CAN Monitor controls and simulates selected modules of SPS-1 system and it works as the bus diagnostics tool.

Keywords: monitoring, acquisition, FBW, CAN, in-flight, tests.

### 1. CHARAKTERYSTYKA SYSTEMU MONITORUJĄCEGO

Podczas prób w locie istotna jest możliwość bieżącej kontroli parametrów i warunków pracy testowanych urządzeń. System monitorujący powinien odpowiadać nie tylko za wizualizację i rejestrację poszczególnych wielkości lecz także pozwalać na szybką modyfikację wybranych współczynników, swobodne załączanie i wyłączanie poszczególnych modułów, czy wreszcie umożliwiać pełną diagnostykę badanych układów.

Prezentowane rozwiązanie pozwala na sterowanie testowanym systemem z poziomu

operatora eksperymentu, kontrolę pracy systemu i układów pomiarowych oraz monitorowanie i rejestrację różnorodnych pakietów danych przesyłanych na magistrali.

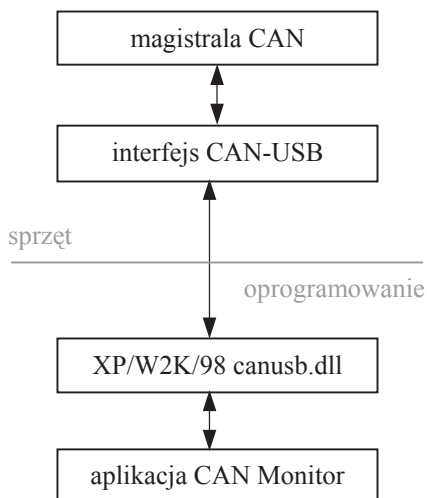
System monitorujący jest zbudowany w oparciu o komputer klasy PC i typowy interfejs CAN-USB umożliwiający pełną komunikację z magistralą komunikacji szeregowej CAN 2.0 [1]. Standard CAN został opracowany w latach 80-tych na potrzeby przemysłu motoryzacyjnego. Od tego czasu rozpowszechnił się i jest wykorzystywany w wielu innych dziedzinach techniki. Standard ten definiuje zarówno stronę sprzętową jak i metody transmisji danych, sposoby rozstrzygania konfliktów czy też detekcję uszkodzeń magistrali.

<sup>1</sup> System wykonano w ramach pracy naukowej finansowanej ze środków Komitetu Badań Naukowych w latach 2001-2003 jako projekt badawczy.

Ponadto cechuje się dobrymi osiągnięciami, jest rozwiązaniem sprawdzonym, a układy i narzędzia niezbędne do obsługi są powszechnie dostępne.

Wymagania sprzętowe w stosunku do komputera, na którym ma pracować oprogramowanie monitora są niewielkie i ograniczają się w praktyce do złącza USB (podczas prowadzonych testów procesor z zegarem 600MHz, 32MB RAM i szybka pamięć masowa w zupełności wystarczały). W trakcie badań nad pośrednim systemem sterowania samolotem PZL-110 „Kolibier” [6, 8] monitor pracował zarówno na stacjonarnym komputerze (laboratorium) [5] jak i na przenośnym (próby w locie).

Oprogramowanie monitora zrealizowano w środowisku Visual Basic. Dostęp aplikacji do magistrali odbywa się za pośrednictwem odpowiedniej biblioteki dll (ang. *dynamic link library*) [2]. Korzystanie z monitora wymaga uprzedniej instalacji oprogramowania interfejsu, natomiast aplikacja *CAN Monitor* może być uruchamiana bezpośrednio ze swego macierzystego katalogu *can\_monitor*. System monitorujący zawiera kilka podkatalogów zawierających pliki pomocy, dodatkowe programy, skrypty oraz pliki źródłowe. Wzajemne relacje sprzętu i oprogramowania przedstawiono na rysunku 1.



Rys.1. Struktura sprzętu i oprogramowania

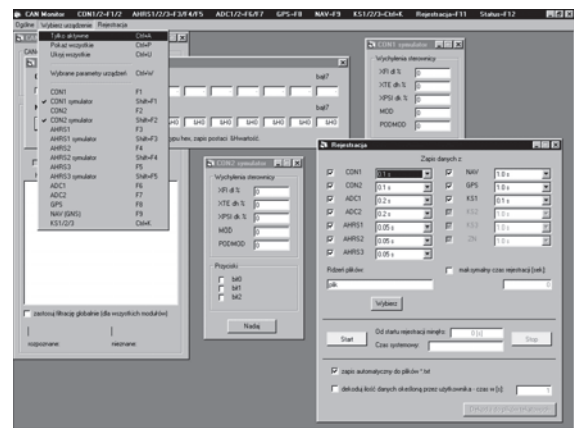
## 2. MOŻLIWOŚCI APLIKACJI CAN MONITOR

Opracowana wersja aplikacji *CAN Monitor* dostosowana jest do monitorowania i rejestracji danych przesyłanych magistralą CAN systemu pośredniego sterowania SPS-1 [4, 7, 8]. W tabeli 1 zestawiono urządzenia komunikujące się przy pomocy pokładowej magistrali.

Funkcjonalnie aplikacja *CAN Monitor* składa się z okna głównego i przyporządkowanych mu okien podrzędnych (rys. 2). Dzielą się one ze względu na zawarte w nich funkcje (status, filtracja, rejestracja) bądź rodzaj obsługiwanego urządzenia (tab. 1). Wywołanie wybranego okna odbywa się z paska

menu lub za pomocą odpowiedniego skrótu z klawiatury. Szybki i łatwy dostęp do ważnych funkcji programu jest szczególnie istotny podczas prób w locie. Z tego względu zastosowano odpowiednie kombinacje klawiszy, poprzez które można dokonywać szybkiego przełączania okien, wywoływać urządzenia aktywne bądź automatycznie pomijać informacje od nieaktywnych. Menu główne programu dzieli się na następujące menu szczegółowe:

- diagnostyka,
- urządzenia,
- symulatory,
- rejestracja,
- kokpit.



Rys.2. Okno aplikacji CAN Monitor

Tabela 1. Zestawienie obsługiwanych urządzeń

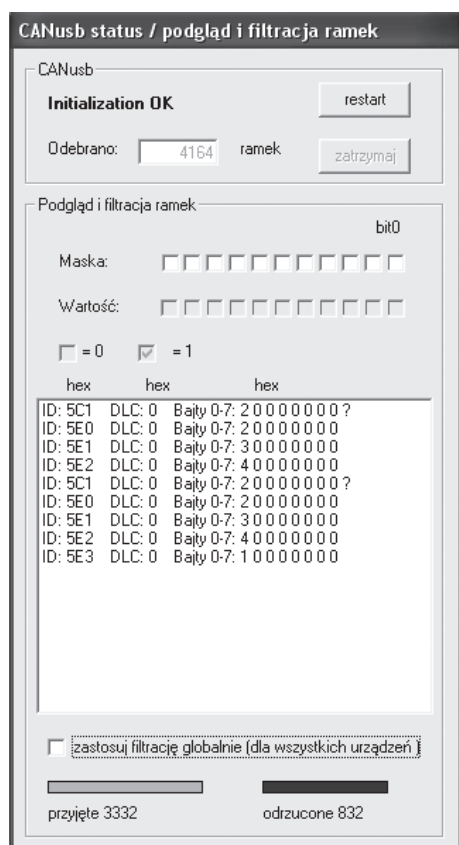
Nazwa	Liczba urządzeń	Oznaczenie	Częstość komunikacji [Hz]
Centrale aerometryczne	2	ADC1-2	5
Inercyjne układy odniesienia	3	AHRS1-3	20
Sterownice i pulpity sterownicze	2	CON1-2	10
Systemy nawigacji satelitarnej	2	GPS, GNS	1
Komputery sterujące	3	KS1-3	10
Moduł sterowania zespołem napędowym	1	ZN1	10

## 2.1. Diagnostyka magistrali i interfejsu CAN-PC

Program *CAN Monitor* umożliwia detekcję stanów awaryjnych magistrali i interfejsu łączącego ją z komputerem PC. Informuje on użytkownika o niezdatności systemu lub błędnym działaniu urządzeń w przypadkach:

- wystąpienia błędu podczas transmisji/odbioru danych,
- pojawienia się na magistrali nieznanego pakietu danych,
- odłączenia magistrali,
- utraty komunikacji interfejsu z magistralą,
- utraty komunikacji interfejsu z PC,
- przepełnienia bufora FIFO interfejsu,
- nieprawidłowej instalacji interfejsu CAN-PC.

Informacje o stanie magistrali i interfejsu są wyświetlane w postaci komunikatów słownych. Pojawienie się niepożądanych danych jest sygnalizowane ogólnie czerwoną kontrolką oraz dodatkowo znakiem zapytania przy każdej nieznannej ramce. Poprzez wykorzystanie opcji filtracji można blokować przyjmowanie pakietów o wybranych identyfikatorach.



Rys. 3. Diagnostyka magistrali, podgląd i filtracja odbieranych pakietów

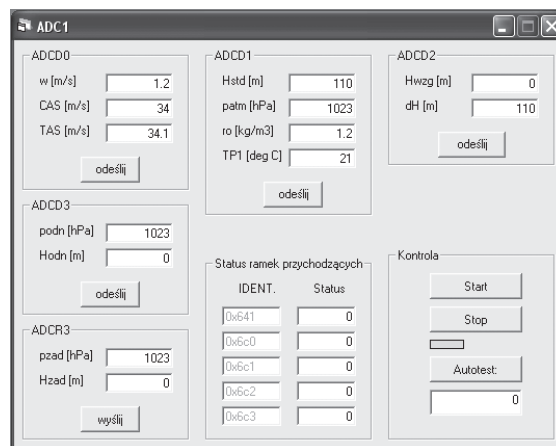


Rys. 4. Testowy nadajnik / odbiornik CAN

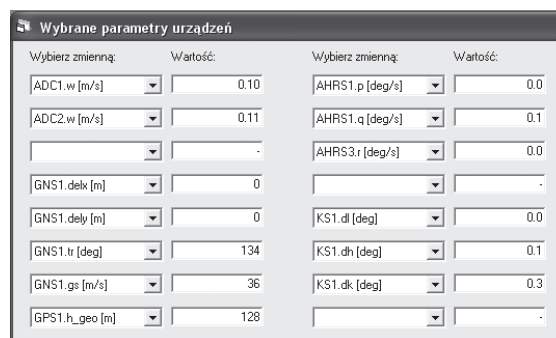
## 2.2. Monitorowanie pracy urządzeń

Oprogramowanie obsługuje wszystkie urządzenia zastosowane w systemie pośredniego sterowania samolotem i podłączone do magistrali CAN (tab. 1). Każde urządzenie posiada własne okno, w którym wyświetlane są jego parametry (rys. 5). W zależności od trybu pracy urządzenia parametry są przesyłane w sposób ciągły bądź na życzenie jest odsyłany pojedynczy pakiet. Ponadto we wszystkich oknach istnieją przyciski pozwalające na załączanie i wyłączanie urządzeń oraz wprowadzanie ich w tryb autotestu.

Każde okno posiada znacznik graficzny pozwalający na szybką ocenę czy urządzenie wysłało dane (zielona, ruchoma listwa). Istnieją również pola diagnostyczne informujące o statusie odpowiednich ramek przychodzących.



Rys. 5. Okno centrali aerometrycznej nr 1



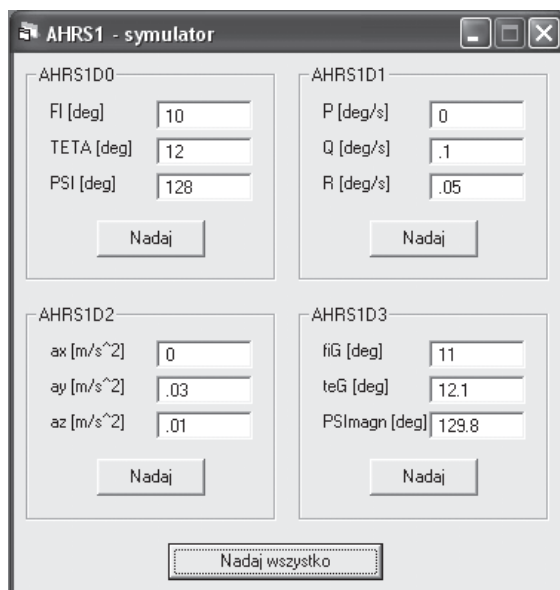
Rys. 6. Fragment okna z wybranymi parametrami urządzeń

Podczas prób w locie możliwy jest tradycyjny podgląd parametrów urządzeń (rys. 5). Jest to wygodne, gdy obserwuje się parametry dwóch lub trzech urządzeń. W przypadku konieczności porównania parametrów z większej liczby urządzeń jest to uciążliwe, wymaga wielu zabiegów i rozprasza operatora. Z tego względu zastosowano w programie *CAN Monitor* okno pozwalające na jednoczesny wybór i śledzenie do dwudziestu czterech dowolnych parametrów różnych urządzeń (rys. 6).

### 2.3. Symulacja pracy urządzeń pokładowych

W trakcie badań nad odległościowym układem sterowania samolotem PZL-110 „Koliber” zaistniała potrzeba budowy symulatorów urządzeń pokładowych. Zdecydowały o tym głównie względy praktyczne. Symulatory umożliwiły badanie systemu sterowania bez fizycznego udziału niektórych urządzeń. Ponadto przyczyniły się do wczesnego wykrycia usterek i pozwoliły na sprawne przeprowadzenie badań laboratoryjnych [5].

Symulacja rzeczywistych urządzeń polega na wysyłaniu pakietów informacyjnych zawierających wartości wybranych parametrów na magistralę CAN, właściwych dla danego urządzenia. Dla systemu SPS-1 zaprojektowano protokół transmisji, w którym każdemu urządzeniu przyporządkowano odpowiedni zestaw identyfikatorów [4, 8]. Wynikiem działania danego urządzenia (lub symulatora) jest więc pojawienie się określonego pakietu informacji o konkretnym identyfikatorze na magistrali CAN.

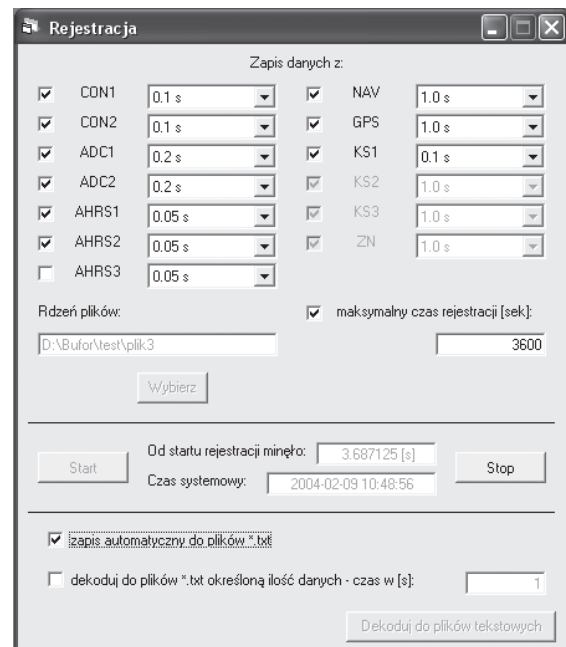


Rys. 7. Okno symulatora inercyjnego układu odniesienia nr 1

### 2.4. Rejestracja

Oprogramowanie systemu monitorującego umożliwia rejestrację parametrów wszystkich obsługiwanych urządzeń pokładowych (tab. 1). Użytkownik ma możliwość dokonania wyboru urządzeń i częstotliwości zapisu według własnych potrzeb (1÷20Hz). Nazwa rdzenia plików, w których będą zapisywane pomiary musi być każdorazowo zmieniona. W przeciwnym wypadku program nie będzie rejestrował danych i wyświetli stosowny komunikat. Jest to zabezpieczenie przed przypadkowym nadpisaniem danych.

Rejestrator umożliwia określenie maksymalnego czasu pracy. Po jego przekroczeniu proces zapisu zostaje zatrzymany. Ponadto możliwa jest automatyczna konwersja zarejestrowanych danych do plików tekstowych.



Rys. 8. Okno rejestratora

W celu minimalizacji objętości zbiorów i usprawnienia procesu rejestracji dane są zapisywane do zakodowanych plików binarnych. Ze względów bezpieczeństwa jest to zbiór plików, z których każdy zawiera dane tylko z jednej minuty pracy rejestratora (w przypadku awarii systemu monitorującego w trakcie prób w locie istnieje możliwość odzyskania choćby części zarejestrowanych danych). Praktycznie jest to rozwiązane w ten sposób, że w każdej kolejnej minucie jest tworzony nowy plik, którego nazwa składa się z rdzenia i sufiksu w postaci minuty pracy rejestratora. Wraz z danymi jest zapisywany dokładny czas ich odbioru z magistrali.

Bezpośrednio po zakończeniu rejestracji pliki binarne mogą zostać zamienione na odpowiednie pliki tekstowe: con1.txt, con2.txt, ahrs1.txt, itd. W pierwszej linijce tekstu umieszczony jest opis

zarejestrowanych parametrów wraz z jednostkami. Druga linijka zawiera czas rozpoczęcia rejestracji. Dane umieszczone są w kolumnach. W pierwszej z nich zawarty jest czas jaki upłynął od momentu rozpoczęcia rejestracji do chwili odbioru danych z magistrali, następne natomiast zawierają wartości odpowiednich parametrów.

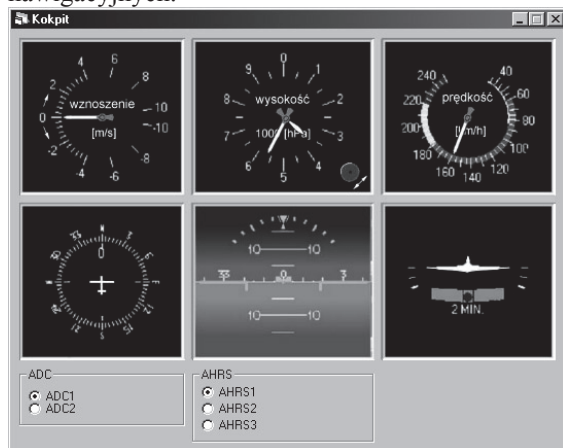
Przykładowa zawartość pliku tekstowego z zarejestrowanymi danymi:

```
%t[s], w[m/s], cas[m/s], hstd[m], p[hPa], ro[kg/m3]
%03-10-24 12:53:05
.09825 .55 7.5 193 990.2 1.22
.31925 -.01 7.5 193.4 990.2 1.22
.52925 .09 7.5 192.6 990.3 1.22
.76925 -.49 8 193.2 990.2 1.22
.98025 -.49 7.5 192.2 990.3 1.22
1.21025 -.98 7.3 189.8 990.6 1.22
1.42025 -2.74 7.6 190.4 990.5 1.22
...
```

Programowy rejestrator, poza uruchomieniem i zatrzymaniem, nie wymaga w trakcie lotu żadnej ingerencji ze strony operatora. Rejestrator informuje jedynie o czasie jaki upłynął od uruchomienia rejestracji. Do zapisu wielkości przedstawionych w tabeli 1 (z podanymi częstotliwościami) podczas godzinowego lotu wymagane jest 4.7MB miejsca na nośniku o możliwie krótkim czasie dostępu (np. twardy dysk, pamięć USB).

## 2.5. Wirtualny kokpit

Dodatkową funkcją monitora magistrali CAN jest wirtualny kokpit (rys. 9). Umożliwia on śledzenie wartości ważniejszych parametrów generowanych przez wybraną centralę aerometryczną i jeden z trzech inercyjnych układów odniesienia. Wielkości takie jak prędkość rzeczywista, prędkość wznoszenia, wysokość barometryczna, kurs magnetyczny czy orientacja przestrzenna samolotu są wizualizowane poprzez wskazania typowych przyrządów pilotażowo-nawigacyjnych.



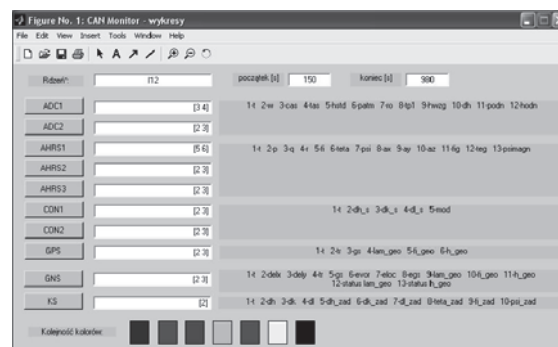
Rys. 9. Wirtualny kokpit

Operator ma możliwość dokonywania nastaw wirtualnych przyrządów. W takim przypadku odpowiednio uformowany pakiet danych jest przesyłany do rzeczywistego urządzenia i ma to bezpośredni wpływ na jego parametry pracy (np. zmiana ciśnienia odniesienia dla pomiaru wybranej wysokości barometrycznej skutkuje wysłaniem informacji o tym zdarzeniu do centrali aerometrycznej).

## 3. PODSUMOWANIE

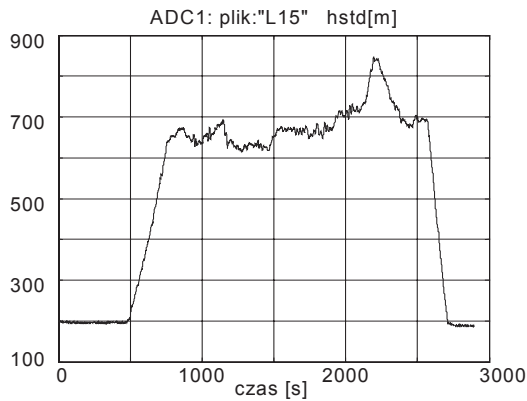
Program CAN Monitor był zastosowany do analizy i gromadzenia danych w badaniach laboratoryjnych, próbach naziemnych oraz badaniach w locie układu pośredniego sterowania SPS-1 zamontowanego w samolocie PZL-110 „Koliber” [8]. Dwanaście godzin lotów próbnych zarejestrowanych zostało w plikach binarnych, przekonwertowanych następnie na pliki tekstowe o łącznej objętości 402MB.

Uzupełnieniem programu CAN Monitor są zewnętrzne skrypty umożliwiające aproksymację danych do jednakowych chwil czasowych i szybkie kreślenie wykresów. Skrypty są połączone w elastyczny sposób z całością systemu. Wyposażono je ponadto w interfejs GUI (ang. Graphical User Interface) co umożliwia ich szybką i intuicyjną obsługę (rys. 10).

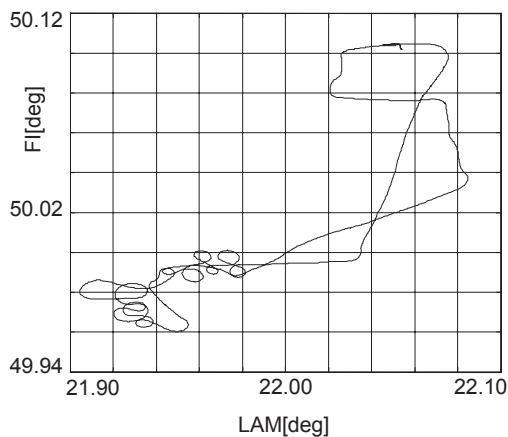


Rys. 10. Moduł do szybkiego kreślenia i opisywania wyników badań

Przykładowe rejestracje typowych parametrów lotu przedstawiają rys. 11 i 12.



Rys. 11. Wysokość lotu wg ciśnienia standardowego (2003-10-24, początek rejestracji godz. 10:47:59 GMT)



Rys. 12. Trajektoria lotu wykreślona we współrzędnych geograficznych (2003-10-24, początek rejestracji godz. 10:47:59 GMT)

Prezentowane oprogramowanie monitora nie jest wersją ostateczną. Jest ono ściśle związane z badaniami nad systemem sterowania pośredniego samolotem lekkim i w dalszym ciągu będzie podlegało rozbudowie. Dalsza modyfikacja i rozszerzanie możliwości programu *CAN Monitor* będą ułatwione dzięki jego otwartej i modułowej budowie [3].



Rys. 13. PZL-110 „Koliber” - próby w locie

## LITERATURA

- [1] CAN Specification Version 2.0, Robert Bosch GmbH, 1991;
- [2] Pieniżek J., Rzucidło P., Mikrokomputerowe systemy pomiarowe dla potrzeb lotnictwa, tom I, str. 193-201, Konferencja Awioniki, Waplewo 2001;
- [3] Pieniżek J., Tomczyk A.: System pomiarowo-nawigacyjny dla samolotów lekkich, Elektronizacja, nr 7-8, 2002, str. 25-29, również: VII Konferencja Naukowa Czujniki Optoelektroniczne i Elektroniczne, tom. I, str. 295-300, Rzeszów 2002;
- [4] J. Pieniżek, System sterowania samolotem z zastosowaniem magistrali CAN, Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe (17) nr 1, str. 33-40, I Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna „Zastosowania Magistrali CAN”, Gliwice 2003;
- [5] Rogalski T., Dołęga B., The Laboratory Stand Intends to Test and Prototype Control System for Small Transportation Aircraft, International Multidisciplinary Conference, Baia Mare 2003;
- [6] Tomczyk A., Experimental Fly-By-Wire Control System for General Aviation Aircraft, AIAA-2003-5776, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference and Exhibit, 11-14 August 2003, CD-ROM ISBN 1-56347-638-X, Austin, Texas;
- [7] Tomczyk A., Zintegrowany system pomiarowy dla lekkich samolotów z pośrednim systemem sterowania, X Konferencja „Mechanika w Lotnictwie”, str. 421-431, Kazimierz Dolny 3-5 czerwca 2002;
- [8] Tomczyk A. [red.], Zintegrowany system pośredniego sterowania lekkim samolotem dyspozycyjnym, Grant KBN 8 T12C 049 20, Rzeszów 2003.



mgr inż. Paweł Rzucidło jest absolwentem Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej (2001) w specjalności "Awionika". Od 2001 roku zatrudniony jako asystent w Katedrze Awioniki i Sterowania.