

dr hab. inż. Mirosław KOWALSKI, prof. ITWL  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
01-494 Warszawa  
ul. Księcia Bolesława 6.

Warszawa 05.06.2019.

## **RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ**

(na zlecenie Rady Naukowej Instytutu Lotnictwa w Warszawie  
- pismo DR-63/538/01/2019 z dnia 13.03.2019 r.  
oraz Umowa o dzieło nr 05/59/2019/72 z dnia 13.03.2019)

Tytuł rozprawy:           WPŁYW POKŁADOWEGO SYSTEMU REJESTRACJI  
DANYCH NA BEZPIECZEŃSTWO LOTU STATKU  
POWIETRZNEGO

Autor rozprawy:           mgr inż. Wojciech REDO

Promotor rozprawy:       dr hab. inż. Jarosław KOZUBA, prof. PŚ

Promotor pomocniczy:     dr inż. Jan WARCZEK

### **1. Charakterystyka pracy**

Podjęta problematyka rozprawy doktorskiej mgr. inż. Wojciecha Redo wychodzi naprzeciw współczesnym potrzebom w zakresie zwiększenia bezpieczeństwa lotów współczesnych statków powietrznych. Prezentuje dość nowatorskie podejście do rozpoznania wiarygodności pomiarowej wykorzystywanych czujników w pokładowych rejestratorach parametrów lotu. Ma to niebagatelne znaczenie w procesie analizy i diagnozowania eksploatowanych zespołów zabudowanych na pokładach współczesnych statków powietrznych, zarówno lotnictwa państwowego jak i wojskowego. W pozyskiwaniu informacji o stanie technicznym analizowanych zespołów niezmiernie istotne są dane (sygnały) pomiarowe, ich struktura oraz jakość. Informacje te są wiedzą niezbędną do poznania rzeczywistości, którą pozyskuje się albo przez tzw. wnioskowanie logiczne, albo jako informację ilościową wyrażaną konkretnymi liczbami. Zasadniczym źródłem informacji pomiarowej jest zwykle eksperyment pomiarowy bezpośrednio dostarczający dane liczbowe odzwierciedlające charakterystyki badanego zespołu lub zjawiska. Dane zapisywane w pokładowych rejestratorach parametrów lotu można traktować jako dane eksperymentalne, od jakości których bezpośrednio zależy rzeczywista informacja o stanie technicznym obiektu, tj. statku powietrznego i jego zespołu napędowego.

Metod prowadzenia rejestracji jest wiele, a ich jakość uzależniona jest przede wszystkim od zastosowanych czujników rejestrujących parametry pracy poszczególnych zespołów statku powietrznego i jego zespołu napędowego. Uzyskiwane sygnały pomiarowe

obciążone są wieloma zakłóceniami, co powoduje zrywanie sygnału lub zniekształcanie podstawowych parametrów pracy. Dlatego niezbędnym jest prawidłowe prowadzenie weryfikacji uzyskiwanych sygnałów, aby określić, na ile odzwierciedlają one stan faktyczny (rzeczywistość) diagnozowanego statku powietrznego i jego zespołu napędowego.

Recenzowana rozprawa doktorska ma charakter analityczno-eksperymentalny, oparty o przeprowadzone analizy literaturowe, dokumenty normatywne, statystyczne oraz badania stanowiskowe i w locie. Przeprowadzone analizy zarówno systemu zarządzania danymi jak i uzyskanych wyników z badań pomiarowych czujników, pozwoliły na opracowanie metodyki badań stanowiskowych, pozwalającej na istotne skrócenie procesu skalowania czujników oraz przeprowadzenie pomiaru danego czujnika bez konieczności jego demontażu. Przeprowadzone badania pozwoliły również na jednoznacznie stwierdzenie, że wykorzystywane w lotnictwie pokładowe rejestratory parametrów lotu stanowią główne źródło obiektywnych i wiarygodnych danych (informacji) wykorzystywanych w systemach bezpieczeństwa lotów, procesach szkolenia lotniczego oraz diagnozowaniu głównych zespołów statku powietrznego i jego napędu.

Stanowi to dość nowatorskie podejście do problemu oceny systemów rejestracji parametrów lotu oraz ich wpływu na bezpieczeństwo wykonywania lotów.

## **2. Problem badawczy - cele rozprawy**

Przedstawiona do recenzji rozprawa za cel pracy prezentuje opracowanie metody wzorcowania i oceny stanu technicznego czujników sygnałów systemu rejestracji danych pokładowych dla potrzeb osiągnięcia akceptowalnego poziomu bezpieczeństwa statku powietrznego. Dodatkowo określono trzy główne problemy badawcze, konieczne do osiągnięcia głównego celu pracy. Treść tych problemów nie do końca służy osiągnięciu celu głównego, a w zasadzie tylko trzeci problem badawczy, generujący zapytanie, czy dokładność pomiaru parametrów lotu wpływa na bezpieczeństwo lotu statku powietrznego.

W pracy zaprezentowano również trzy główne hipotezy pracy, będące konsekwencją zrealizowania określonych problemów badawczych. Ponadto w pracy zaprezentowano tezę pracy, która brzmi: Dane pozyskiwane z systemów FDR mogą cechować się nieakceptowalnym poziomem dokładności, a tym samym mogą mieć negatywny wpływ na stan bezpieczeństwa statku powietrznego. W zasadzie treść tezy pracy jest stwierdzeniem merytorycznie pokrywającym się z trzecią hipotezą pracy, gdyż udowodnienie tej hipotezy prowadzi także do udowodnienia postawionej tezy pracy.

Takie rozpisanie celu pracy, problemów badawczych, hipotez i tezy jest zbyt przesadne i komplikuje proces dochodzenia do osiągnięcia celu głównego i udowodnienia poszczególnych hipotez czy tezy pracy. Brak jest natomiast sprecyzowania tzw. celu naukowego pracy, celów badawczych, które jasno precyzują zarówno wątek naukowy jak i badawczy recenzowanej rozprawy.

W moim przekonaniu cel główny pracy został sformułowany w sposób dość przejrzysty i jasny. Pewnym mankamentem jest jednak nadmierne rozpisanie poszczególnych problemów i hipotez pracy, stanowiących w zasadzie oddzielne zagadnienia, mało powiązane z celem głównym.

### **3. Sposób przeprowadzenia analizy źródeł i formułowania wniosków**

Recenzowana rozprawa zawiera 215 pozycji literaturowych, spośród których większość została opublikowana w ciągu ostatnich dwóch dekad. W dodatku większość z nich ma bezpośrednie odwołanie w rozprawie, a tylko dwie pozycje nr [15] i [29] nie mają odniesienia w tekście rozprawy. Wskazano jest również nadmienić, że istotna część zamieszczonej literatury jest obcojęzyczna – głównie w języku angielskim. Zakres tematyczny należy uznać za właściwy do realizacji niniejszej rozprawy doktorskiej. Wskazano jest jednak rozdzielanie klasycznej literatury przedmiotu o adresów stron internetowych czy też dokumentów normatywnych, co istotnie poprawiłoby czytelność literatury.

Ostatecznie jednak stwierdzam, że przeprowadzona analiza literatury przedmiotu, jest wystarczająca do zrealizowania niniejszej rozprawy.

### **4. Rozwiązanie postawionego zadania w rozprawie**

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska liczy ogółem 243 strony. Składa się ze spisu treści, wykazu najważniejszych oznaczeń (które nie ujęto w spisie treści), pięciu rozdziałów, w tym znajduje się wprowadzenie, podsumowania i wniosków, bibliografii oraz spisu rysunków i tabel. W sumie praca zawiera 119 rysunków i 20 tabel.

Wykaz ważniejszych oznaczeń zawiera tylko skróty, których opisy przedstawiono głównie w języku angielskim. W skazanym było ich przetłumaczenie – praca jest pisana w języku polskim. Dopuszcza się opisy w języku angielskim, ale wraz z tłumaczeniem na język polski. Brak jest wykazu symboli, których w tekście rozprawy jest bardzo dużo. Wskazano było również wydzielenie oznaczeń indeksów, co pozwoliłoby na istotne ograniczenie liczby symboli w wykazie i poprawiłoby ich czytelność. Stwierdzono również, że rozdział ten nie został zapisany w spisie treści.

Wprowadzenie będące jednocześnie rozdziałem pierwszym rozprawy prezentuje rolę współczesnego lotnictwa zarówno cywilnego jak i wojskowego, jego dynamiczny rozwój z wykorzystaniem nowoczesnych technologii. Zwrócono uwagę na wagę stosowanych, pokładowych rejestratorów lotu oraz wiarygodności rejestrowanych parametrów, co wpływa na dokładność wskazywanych parametrów lotu statków powietrznych. W rozdziale tym zawarto również skrótowy opis zawartości pracy. W sumie rozdział ten zawarto na niecałych 6 stronach rozprawy.

Rozdział drugi pt. „Wykorzystanie danych z rejestratora FDR w systemie bezpieczeństwa lotów w organizacji lotniczej” koncentruje się na analizie zasadniczych dokumentów normatywnych stosowanych i obowiązujących w lotnictwie cywilnym i wojskowym. Dodatkowo prezentuje charakterystykę systemów zarządzania danymi z systemu FDR, metodykę prowadzenia analizy zapisów parametrów lotu, wykorzystanie uzyskiwanych wyników z analizy materiałów OKL w systemie bezpieczeństwa lotu statku powietrznego, prezentując przy tym algorytm postępowania z tymi materiałami w obszarze techniki lotniczej oraz działania organizacji lotniczej w przypadku wystąpienia przekroczeń parametrów lotu w zapisie z systemu FDR, przytaczając przy tym wybrane, graficzne

przykłady zapisu parametrów lotu z rejestratora pokładowego typu S2-3. Wskazano przy tym rolę podsystemu obiektywnej kontroli lotów (OKL) w globalnym systemie bezpieczeństwa lotów lotnictwa państwowego i cywilnego oraz w systemie eksploatacji statków powietrznych. Omówiono strukturę funkcjonalną systemu zarządzania danymi OKL z uwzględnieniem aspektów porównawczych pomiędzy systemami lotnictwa państwowego i komercyjnego. W dodatku, szczegółowej analizie poddano zarówno podsystemy zarządzania danymi w zakresie gromadzenia, obróbki oraz wykorzystania danych, jak też wskazano na ich rolę w systemie bezpieczeństwa lotów. Powyższe opisy zawarto na 71 stronach rozprawy.

Trzeci rozdział to prezentacja tezy pracy, celu pracy wraz z trzema problemami badawczymi oraz trzech hipotez z rozpisaniem ich na dość szczegółowe hipotezy uzupełniające. Rozdział ten zawiera również bardzo krótki opis zakresu pracy, co raczej jest elementem zbędnym, gdyż dość szczegółowy opis zakresu pracy Autor zawarł we wprowadzeniu. Ponadto opisano w nim metody i narzędzia badawcze – zarówno teoretyczne, jak i empiryczne. W sumie rozdział ten zawiera 4 strony.

W rozdziale czwartym pt.: Pokładowe urządzenia rejestrujące, Autor przedstawił podstawową klasyfikację pokładowych urządzeń rejestrujących parametry pracy i lotu statku powietrznego, przybliżając przy tym historię ich powstania i rozwoju oraz kryteria według których można dokonywać podziału rejestratorów. Do najważniejszych Autor wymienił kryterium funkcjonalności, rodzaju rejestrowanej informacji, nośnika danych oraz sposobu przetwarzania danych. Następnie przedstawiono ewolucję metod zapisu pokładowych systemów rejestracji, w tym opisano:

- mechaniczną metodę zapisu parametrów,
- optyczną metodę zapisu, a w szczególności rejestrację i zapis parametrów realizowany przez rejestrator typu SARPP-12GM,
- cyfrową metodę zapisu – a w szczególności charakterystykę i system zapisu przez polski rejestrator typu S2-3 różnych wersji,
- magnetyczną metodę zapisu (stosowana m.in. na rejestratorze typu BUR-1-2).

W dalszej części tego rozdziału przedstawiono zagadnienia dotyczące dokładności pomiaru parametrów lotu w systemie FDR, w tym dokładność pomiaru przez czujniki potencjometryczne i stosowanego toru pomiarowego w systemie FDR, prezentując m.in. proces wzorcowania, a konkretnie problematykę kalibrowania czujników, ich czułości, i rozdzielczości. Wskazano również na źródła generowania błędów zapisu parametrów lotu, błędy występujące w obszarze eksploatacji pokładowych środków OKL, błędy w obszarze skalowania czujników systemu FDR oraz przyczyny występowania błędów w grupie pokładowych urządzeń systemu OKL. Rozdział ten przedstawiono na 58 stronach rozprawy.

Rozdział piąty prezentuje koncepcję i narzędzia diagnostyczne do oceny stanu technicznego czujników potencjometrycznych w systemie FDR. Dokonano w nim weryfikacji danych grafików skalowań w ujęciu statystycznym, w tym przeprowadzono analizę matematyczną baz danych grafików skalowań wraz wymaganym do tego celu aparatem matematycznym oraz prezentacją wybranych danych wprowadzonych do arkusza kalkulacyjnego. Dalej zaprezentowano model matematyczny toru pomiarowego FDR wraz przykładowymi wynikami oraz interpretacją wyników pomiarów badanych parametrów

lotu. Uzyskiwane dane przedstawiono graficznie na wykresach, a ponadto dokonano krótkiego ich podsumowania i wyciągnięto wnioski. Dość interesującym jest opis koncepcji pomiaru i sprawdzenia charakterystyki czujników prędkości i wysokości, gdzie przedstawiono przykłady grafików skalowań tych czujników. Dalej zaprezentowano zasady pomiaru prędkości i wysokości lotu statku powietrznego, ukazując przy tym strukturę instalacji OCP na samolocie. Ostatnim podrozdziałem jest opis stanowiska badawczego do sprawdzenia czujników barometrycznych, metodykę wykonywania badań, analizę wyników badań uzyskanych na stanowisku badawczym typu AKP-bar oraz krótkie wnioski z przeprowadzonych sprawdzeń czujników. Jest to największy i najistotniejszy rozdział recenzowanej rozprawy. Zapisano go na 73 stronach.

Kolejny rozdział to podsumowanie i wnioski, w których dokonano opisu przeprowadzonych badań, wskazano na istnienie elementów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo lotów w lotnictwie cywilnym i państwowym, ale przy jednoczesnym braku jednolitego i wspólnego systemu zarządzania. Wskazano na istotny wpływ obiektywności i wiarygodności pozyskiwanych danych przez rejestratory parametrów lotu na skuteczność ich faktycznego wykorzystania w procesie doskonalenia systemu bezpieczeństwa. Wykazano wagę prawidłowego określania charakterystyk czujników wykorzystywanych w pokładowych rejestratorach lotu oraz konieczność opracowania stanowiska do ich wyznaczania. Autor zaprezentował koncepcję stanowiska AKP-bar, które następnie wykorzystał do badań czujników. Opracowanie stanowisko posiada duże możliwości w zakresie testowania czujników pomiarowych systemu FDR, zarówno zdemontowanych jak i zabudowanych w statku powietrznym – bez konieczności ich demontażu. Ma to ogromne znaczenie i istotnie wpływa na bezpieczeństwo lotów. Pozwala na weryfikacje on-line czujników oraz szybką reakcję na stwierdzane nieprawidłowości. Doktorant poprawnie zrealizował założenia pracy, osiągnął założony cel pracy i udowodnił określone hipotezy oraz tezę pracy.

Stwierdzam, że układ rozprawy i sposób rozwiązania poszczególnych zagadnień jest poprawny, a przy tym w sposób jasny i czytelny opisany.

## **5. Oryginalność rozprawy – samodzielny dorobek Autora**

Oryginalnym osiągnięciem Autora jest:

- przeprowadzenie analizy aktualnie funkcjonujących systemów bezpieczeństwa lotów na podstawie wymagań zawartych w dokumentach normatywnych - krajowych i międzynarodowych;
- przeprowadzenie analizy zapisywanych danych w pokładowych rejestratorach parametrów lotu pod kątem dokładności pomiaru oraz występowania nieprawidłowości w zapisach;
- opracowanie nowatorskiej koncepcji narzędzia diagnostycznego do analizy charakterystyk czujników pomiarowych systemu FDR
- wykonanie stanowiska typu AKP-bar na podstawie opracowanej koncepcji narzędzia diagnostycznego i przeprowadzenie badań eksperymentalnych;

- przeprowadzenie analizy uzyskanych wyników i ich graficzna prezentacja oraz poprawne wyciągnięcie wniosków.

## 6. Uwagi ogólne pracy

Sposób realizacji pracy – od strony merytorycznej – nie budzi zastrzeżeń. Struktura pracy jest poprawna i przez to czytelna. Drobnym uchybieniem jest strona redakcyjna rozprawy, gdyż Autor nie ustrzegł się wielu błędów natury czysto redakcyjnych, a mianowicie takich jak: brak przecinków, literówki, znaki interpunkcyjne oraz brak wykazu symboli. Nieprawidłowym jest również używanie przez Autora nazywanie czujników sensorami, gdyż nie jest to polskie określenie i w przyszłości należałoby tego unikać. Zastrzeżenia budzi również strona formalna pracy, chodzi o występowanie różnej czcionki – przykład to chociażby spis rysunków i tabel, który zapisano inną czcionką niż tekst rozprawy oraz różna wielkość liter – np. na str. 104. Ponadto należy podkreślić dość słabą czytelność niektórych rysunków jak np. rys. 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 30, 32, 34, 36 itd.

Należy również zwrócić uwagę na edycję wzorów (zależności matematycznych), chodzi m.in o zapisywanie ułamków w tekście, gdzie wówczas licznik i mianownik dość widocznie, samoczynnie zmniejszają wielkość czcionki oraz dolnych i górnych ograniczeń przy znaku sumy, które powinny być pisane pod i nad znakiem sumy, a nie za znakiem jak to jest np. w zależnościach (3), (7), (8), (9), (10), (11), (13), (14), (15), (40) itd., co wynika z wykorzystania edytora równań word, który nie jest do tego celu najlepszym rozwiązaniem.

Stwierdzone błędy nie mają jednak istotnego wpływu na jakość pracy oraz jej stronę merytoryczną i nie umniejszają pozytywnego jej odbioru.

## 7. Podsumowanie

Podsumowując stwierdzam, że opiniowana rozprawa mgr. inż. Wojciecha REDO pt.: „WPŁYW POKŁADOWEGO SYSTEMU REJESTRACJI DANYCH NA BEZPIECZEŃSTWO LOTU STATKU POWIETRZNEGO ” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim przez Ustawę z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2003 Nr 65, poz. 595 z późn. zm.) i mieści się w dziedzinie budowa i eksploatacja maszyn.

W związku z tym wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

.....  
