

**dr hab. inż. Leszek CWOJDZIŃSKI**

Poznań, 12. 08. 2020 r.

Dyrektor Programów Wojskowych Airbus Poland S.A

tel.: +48 502 695 195

e-mail: samolot221@wp.pl

## **RECENZJA**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Rafała ZADENCKIEGO nt.:

**"Analiza uszkodzeń samolotów wielozadaniowych F-16**

**Blok 52+ podczas ich eksploatacji"**

*wykonana na zlecenie Rady Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu  
Politechniki Poznańskiej.*

## **OCENA STRONY METODYCZNEJ ROZPRAWY**

### **1. Układ rozprawy**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska liczy 137 stron i jest podzielona na 9 rozdziałów, w tym także wstęp do problematyki rozprawy oraz zakończenie. Praca zawiera 62 rysunki, 12 tabel i 4 załączniki. Bibliografię stanowią 142 pozycje o charakterze poznawczym obejmującym materiał badawczy rozprawy.

Przedstawiona rozprawa poświęcona została analizie uszkodzeń samolotów wielozadaniowych F-16 blok 52+ podczas ich eksploatacji. Autor podjął aktualny obecnie temat dotyczący rejestrowania i analizowania uszkodzeń nowoczesnych samolotów wielozadaniowych, które traktowane było dotychczas wyłącznie w celach diagnostycznych. Obecnie w kontekście zaawansowanej technologii monitorowania danych okazuje się to niewystarczające. Zasadnym należy zatem uznać zmianę pozyskiwania informacji i ich analizy w celach prewencyjnych, poprzez podejmowanie działań w czasie rzeczywistym w odniesieniu do zaistniałych niesprawności i uszkodzeń.

Przedstawiona praca doktorska jest syntetyczną próbą zastosowania dostępnych systemów monitorowania, umożliwiających prowadzenie analizy powstających niesprawności i uszkodzeń floty samolotów wielozadaniowych F-16 Block 52+ stacjonujących

w jednej z baz lotnictwa taktycznego. Rozwiązanie to ma bezpośredni wpływ na zapewnienie dostępności statków powietrznych w celu realizacji misji, tj. szkolenia lotniczego oraz wykonywania zadań bojowych zarówno w kraju, jak i poza jego granicami.

Przeprowadzona analiza danych dotycząca uszkodzeń wykazała szereg zależności, które mogą być podstawą profilaktyki zdarzeń, skutkujących wyłączeniem statku powietrznego z eksploatacji.

Złożoność zaprezentowanej problematyki wymusiła przedstawienie analizowanych zagadnień w odniesieniu do poszczególnych systemów wewnętrznych statku powietrznego takich jak: zespół napędowy, instalacja hydrauliczna, instalacja paliwowa, awionika, system sterowania samolotem, system rejestracji danych, oraz diagnostyki wewnętrznej. Analiza niesprawności tych systemów doprowadziła do opracowania modeli uszkodzeń, które zostały zweryfikowane metodą obliczeń eksperymentalnych.

Przeprowadzony proces analityczno-badawczy pozwolił wypracować wnioski końcowe oraz określić kierunki dalszych badań w odniesieniu do przedstawionej problematyki. W lotnictwie sił powietrznych obowiązują dokumenty, które regulują kwestie związane ze zbiorem i analizą danych dotyczących uszkodzeń statków powietrznych podczas ich eksploatacji. Jednak po ponad dekadzie od ich wprowadzenia, nie dokonano żadnych istotnych aktualizacji, pomimo iż dokonał się ogromny postęp zarówno w dziedzinie diagnozowania uszkodzeń, zarządzania ryzykiem zagrożeń jak też w dziedzinie rozwoju lotnictwa. Ponadto wraz z postępującym starzeniem się technicznym i technologicznym samolotów użytkowanych w lotnictwie taktycznym sił powietrznych, pojawiły się nowe źródła zagrożeń. Problematyka niniejszej rozprawy wychodzi naprzeciw potrzebom wprowadzenia aktualizacji treści tych dokumentów.

Podejmowana tematyka wpisuje się w rozwój zawodowy autora rozprawy. Kilkunastoletnie doświadczenie i wnikliwe obserwacje systemu użytkowania i eksploatacji samolotów lotnictwa taktycznego stały się przyczyną „nowego” spojrzenia na system analizy i diagnozowania, oraz użytkowania samolotów, a także na zagadnienia związane z zarządzaniem ryzykiem zagrożeń generowanych podczas eksploatacji samolotów F-16. Doktorant dostrzegł, iż kwestie związane z analizą uszkodzeń i niesprawności oraz zarządzaniem ryzykiem zagrożeń nie zawsze traktowane są priorytetowo. Jest to niewątpliwie wyzwanie dla zespołu ludzi o wysokim poziomie przygotowania merytorycznego oraz dużym lotniczym doświadczeniu, dla dowódców lotniczych wszystkich szczebli.

Autor niniejszej rozprawy przeprowadza opis systemów samolotu i przegląd definicji podstawowych pojęć związanych zarówno z lotnictwem taktycznym ogólnie, jak i z diagnostyką, analizą niesprawności oraz uszkodzeń, a także zarządzaniem ryzykiem zagrożeń w lotnictwie taktycznym. Szczególna uwaga zostaje zwrócona na takie pojęcia jak: misja lotnicza, zdolność do lotu, przeglądy kontrolne, czas występowania niesprawności, ryzyko zagrożenia, element systemu bezpieczeństwa. Przedstawiono dokładną charakterystykę systemu użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. W efekcie prowadzonych rozważań dotyczących elementów systemów bezpieczeństwa i eksploatacji opracowano modele liczby uszkodzeń, oraz model wskaźnika miesięcznego rezerwu samolotów lotnictwa taktycznego. Jednak zasadniczą część niniejszej rozprawy stanowią rozdziały dotyczące charakterystyki i budowy samolotu F-16, analizy uszkodzeń, oraz opracowania modelu danych uszkodzeń samolotu F-16. Podjęta tematyka pracy jest związana z potrzebą zwiększenia skuteczności analizy uszkodzeń i podejmowania działań prewencyjnych w systemie realizacji zadań przez samoloty wielozadaniowe lotnictwa taktycznego, oraz zarządzania flotą samolotów.

Pomimo wieloletnich badań specjalistów z zakresu diagnostyki i analizy uszkodzeń oraz bezpieczeństwa lotów, incydenty lotnicze i wypadki ciężkie wciąż występują. Tworzy się wiele nowych rozwiązań zarówno w obszarze techniki lotniczej jak również w procedurach wykonywania lotów, jednakże nie można całkowicie wyeliminować niebezpiecznych zdarzeń w lotnictwie. Obserwowany przez lata wyścig pomiędzy próbą zapobiegania wypadkom lub incydentom lotniczym, a ich pojawianiem się, zmusza do poszukiwania nowych rozwiązań empirycznych i praktycznych nad zagadnieniami zdatności do lotów, bezpieczeństwa oraz zarządzania ryzykiem w eksploatacji wojskowych statków powietrznych.

Doktorant wykorzystując powszechnie stosowane w analizach ekonomicznych modele przedstawił autorskie opracowanie danych uszkodzeń samolotów F-16. W świetle analizy dostępnej literatury tematu, uważam że rozprawa mgr inż. Rafała Zadenckiego jest oryginalnym osiągnięciem i wnosi wartościowe elementy w nurt badań nad skutecznością profilaktyki uszkodzeń samolotów F-16, zarządzania ryzykiem w obsłudze i użytkowaniu wojskowych statków powietrznych, a także badaniem wpływu czynnika ludzkiego na bezpieczeństwo realizacji zadań lotniczych.

Przyjmując, że rozdziały 1-9 stanowią zasadniczą część rozprawy, stwierdzam, że proporcje pomiędzy jej częściami merytorycznymi są prawidłowe. Treść pracy nawiązuje

w sposób właściwy do jej tytułu, a nazwy rozdziałów przedstawiają spójną całość dając syntetyczny pogląd na rozważane treści.

Doktorant słusznie zauważył, iż we współczesnej literaturze przedmiotu podejmuje się niejednokrotnie tylko ogólną tematykę analizy uszkodzeń w lotnictwie. Występuje wiele prac poświęconych jednemu z podsystemów systemu eksploatacji samolotów wojskowych, jakim jest użytkowanie. Brak jest jednak badań nad systemem eksploatacji samolotów, poszukiwaniem oraz rozpoznawaniem źródeł zagrożeń, identyfikacją zagrożeń, wyborem metody analizy niesprawności i uszkodzeń. Na podstawie przeprowadzonego studium literatury Doktorant stwierdził, że w opracowaniach branżowych MON brak jest uaktualnionych metodyk opracowania obliczeniowych modeli danych uszkodzeń dla personelu latającego i zarządzającego procesem użytkowania samolotów, który odpowiedzialny jest za podejmowanie decyzji dotyczących zapewnienia zdatności do lotów statków powietrznych, a tym samym zapewnienia wymaganego poziomu bezpieczeństwa lotów.

Praca doktorska mgra inż. Rafała Zadenckiego mieści się w nurcie prac związanych z rozwojem systemowym zdatności do lotu samolotu F-16 i wnosi wkład w rozwój metod zarządzania zdatnością do lotów w systemie użytkowania samolotów wielozadaniowych lotnictwa taktycznego.

Uważam iż treści zawarte w rozprawie mogą posłużyć jako podstawa do dalszych rozważań w ramach systemu analiz i diagnozowania uszkodzeń, oraz profilaktyki eksploatacji samolotów lotnictwa taktycznego. Za wartość dodatkową rozprawy należy uznać uporządkowanie aparatu pojęciowego związanego z obsługiwaniem i eksploatacją samolotów F-16.

***Zaproponowana metodyka tworzenia modeli danych uszkodzeń oraz wnioski i kierunki dalszych badań mogą posłużyć jako matryce do opracowania metodyk i modeli w innych obszarach eksploatacji platform bojowych sił zbrojnych.***

## **2. Metoda opracowania**

Ze względów metodycznych całość rozprawy została podzielona na pięć części: część wstępną, badawczą i analityczną, oraz dysertacyjną i podsumowującą. Rozprawa poprzedzona jest opracowanym przez Doktoranta streszczeniem i wprowadzeniem do tematu jakim jest analiza niesprawności i uszkodzeń samolotu F-16 podczas jego eksploatacji związana nierozdzielnie z bezpieczeństwem lotów.

### 3. Zakres rozprawy

Część pierwsza, wstępna, obejmuje trzy rozdziały i omawia problematykę badawczą, zawiera omówienie genezy, celu pracy oraz zadań szczegółowych. Doktorant przedstawił wprowadzenie do problematyki rozprawy, scharakteryzował terminologię, zasady użycia i budowy systemów samolotu F-16 zakładając słusznie że dobrze rozpoznany i opisany przedmiot badań, to fundament prowadzenia analiz, zwłaszcza jeśli chodzi o analizę uszkodzeń samolotu i jego systemów. Doktorant przedstawił także rozważania obejmujące zagadnienia bezpieczeństwa lotów, informacje na temat metodologii systemowej dotyczącej zarządzania ryzykiem zagrożeń w lotnictwie taktycznym, które w niniejszej rozprawie były rozpatrywane z punktu widzenia zdatności do lotu i dostępności samolotu do lotu. Na tle wyników przeglądu obecnego stanu wiedzy, wskazano lukę badawczą oraz cele i zakres rozprawy.

Część druga, analityczna, zawarta w rozdziale czwartym przedstawia kompleksową charakterystykę oraz budowę samolotu i jego systemów wewnętrznych jako obszaru badań i analiz, a także rolę samolotu F-16 w strukturze Sił Zbrojnych RP. W dalszej części zawarto charakterystykę pokładowych systemów diagnostycznych i systemu akwizycji danych, oraz opisano wypadki z udziałem samolotu F-16. W efekcie przedstawiono wizję pracy wynikającą ze sformułowanych wcześniej celów cząstkowych.

Część trzecia, badawcza, stanowi sprawozdanie merytoryczne z realizacji zadań badawczych i jest przedstawiona w rozdziale piątym. Rozdział ten zawiera charakterystykę metody badawczej oraz systemu eksploatacji samolotów lotnictwa taktycznego. Punktem wyjścia do rozważań na temat systemu analizy uszkodzeń samolotów są ogólne zagadnienia dotyczące eksploatacji samolotów oraz cykli czynności lotniczych związanych z użytkowaniem statków powietrznych. Ważnym elementem tego rozdziału jest wyjaśnienie metody badawczej oraz dobór obiektów badań i charakterystyka danych. W rozdziale piątym dysertacji omówione zostały zagadnienia dotyczące elementów systemów eksploatacji i diagnozowania uszkodzeń oraz niesprawności samolotów eksploatowanych w lotnictwie taktycznym. Końcowym efektem procesu badawczego jest opracowanie tabeli klasyfikacji potencjalnych uszkodzeń ze względu na status statku powietrznego.

Część czwarta, dysertacyjna rozprawy, zawarta jest w rozdziale szóstym. Autor zaprezentował wyniki przeprowadzonych analiz związane z elementami systemów zagrożeń

bezpieczeństwa w ujęciu modelu 5M. Czwarta część rozprawy została poświęcona procesowi osiągania zdolności do lotów, oraz dysponowanym reansom technicznym samolotów. Przeanalizowano czas występowania niesprawności oraz częstotliwość wykonywania przeglądów kontrolnych. Okoliczności wykrycia niesprawności, uszkodzenia oraz identyfikację w systemie użytkownika samolotu. Po zakwalifikowaniu uszkodzeń do poszczególnych systemów, zostały zaproponowane przykładowe procedury reagowania na ryzyko zagrożeń oraz profilaktyka. Doktorant odniósł się także do własnych doświadczeń formułując wnioski, przedstawił ocenę wyników przeprowadzonych badań oraz propozycję dalszych obszarów badawczych. Na podstawie ogólnego modelu danych uszkodzeń samolotów F-16, Doktorant opracował model liczby uszkodzeń w danym miesiącu, oraz model przebiegu wskaźnika wielkości miesięcznego nalotu przypadającego na niesprawność. Przedstawił wzory i elementy obliczeniowe oraz wyniki obliczeń.

W ostatniej, piątej podsumowującej części rozprawy, przedstawiona została analiza niezawodności samolotów wielozadaniowych F-16 eksploatowanych w Siłach Zbrojnych RP w odniesieniu do pierwszych dziesięciu lat ich eksploatacji. Pozwala ona stwierdzić, że prawie 10% zdarzeń lotniczych wywołanych było uszkodzeniami systemu napędowego, co sprawia, że należy je traktować jako poważne zagrożenie. Badania, analizy oraz podejmowana profilaktyka zmierzające do ograniczenia uszkodzeń zespołu napędowego są kluczowe z punktu widzenia bezpieczeństwa i kosztów eksploatacji statków powietrznych. Autor pracy wskazuje iż najczęściej stosowaną metodą określania zagrożeń w lotnictwie wojskowym jest model 5M, który skutecznie identyfikuje źródła zagrożeń związane z czynnikiem ludzkim i organizacyjnym. Według autora zagrożenia w obszarze „MACHINE” identyfikuje się niewystarczająco w odniesieniu do uszkodzeń i awarii, będących konsekwencją starzenia się elementów statku powietrznego, które kwalifikowane są do kategorii zużycie techniczne. Przeglądy kontrolne mają na celu określenie stanu technicznego samolotów F-16 w systemie binarnym określają, czy jest on zdolny do lotu czy nie. Z wyników analiz pracy wynika, że około 70% uszkodzeń spowodowane jest zużyciem technicznym, co oznacza, że w niedostatecznym stopniu podczas szacowania ryzyka uwzględnia się stopień zużycia/starzenia elementów płatowca i agregatów jego systemów oraz silnika.

Końcowymi elementami tego rozdziału jest zestawienia uwag i wniosków oraz propozycji obszarów dalszych badań. Pracę zamyka spis literatury oraz spis rysunków, tabel i załączników.

W ramach wszystkich części rozprawy uporządkowano aparat pojęciowy związany z lotnictwem taktycznym ogólnie ale także ten dotyczący zarządzania ryzykiem zagrożeń w rozważanym obszarze analiz.

Podjęty przez Doktoranta problem badawczy został sformułowany poprawnie, tak pod względem obszaru merytorycznego, jak i prowadzonych rozważań. Z punktu widzenia określonych celów, przyjęta koncepcja badań jest w pełni uzasadniona, a zastosowane narzędzia i metody badawcze są adekwatne. Zarówno materiał badawczy jak i bibliograficzny został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Na podstawie treści pracy można ocenić duży wkład Doktoranta w dziedzinie będącej przedmiotem dysertacji.

### **3. Metoda wykładu**

Praca jest ilustrowana 62 rysunkami, wykonanymi czytelnie wplecionymi w treść pracy, co w połączeniu z 12 tabelami ułatwia zrozumienie prezentowanych przez Autora rozważań. Treści poszczególnych rozdziałów zachowują właściwą kolejność logiczną i tworzą spójną całość. Praca jest napisana w sposób poprawny. Zdarzają się w niej jednak błędy edytorskie, terminologiczne i techniczne, które zostały wskazane i wyjaśnione z Autorem, nie mające jednak wpływu na wartość merytoryczną pracy. Reasumując stwierdzam, że pod względem metodycznym praca zawiera:

- opracowaną przez Autora w odniesieniu do procesu eksploatacji wojskowych statków powietrznych metodykę i modele miesięcznej liczby uszkodzeń oraz wskaźnika miesięcznego resursu na niesprawność.
- wyniki obliczeń opracowanej metody analizy uszkodzeń, oraz propozycje wprowadzenia zmian do metodyki zarządzania ryzykiem w obszarze analiz związanych z modelem systemowym 5M zbudowanym w otwartej architekturze.
- wiedzę z zakresu eksploatacji, profilaktyki i zarządzania ryzykiem niezbędną dla dowódców lotniczych wszystkich szczebli dowodzenia.

Niewątpliwym niedostatkim pracy jest brak przełożenia modeli miesięcznej liczby uszkodzeń na postać cyfrową. (opracowanie propozycji algorytmów np. w języku UML) pozwalającą na ich wykorzystanie w systemie Turawa i/lub Samanta co znacznie ułatwiło by serwisowanie i obsługę statków powietrznych.

## **OCENA MERYTORYCZNA ROZPRAWY**

Przedmiotem rozprawy doktorskiej mgra inż. Rafała Zadenckiego była analiza uszkodzeń samolotu F-16, opracowanie modelu liczby uszkodzeń w danym miesiącu oraz modelu przebiegu wskaźnika wielkości miesięcznego nalotu przypadającego na niesprawność statku powietrznego. W ramach rozprawy opracowano wyżej wymienione modele i metodykę ich tworzenia. Ważnym elementem pracy doktorskiej jest wskazanie w modelu ryzyka 5M uwagi na wiek eksploatacyjny samolotów i silników oraz innych ważnych zespołów i agregatów. Przewidywanie i profilaktyka uszkodzeń samolotów ma ogromny wpływ na zwiększanie zdolności bojowych lotnictwa taktycznego i stanowi kluczowy element zarządzania systemem eksploatacji i bezpieczeństwa lotów. Celem zarządzania ryzykiem w tym obszarze jest wspieranie procesu decyzyjnego, służącego zwiększaniu efektywności i bezpieczeństwa misji lotniczych wykonywanych przez lotnictwo taktyczne. Funkcjonowanie lotnictwa taktycznego w warunkach zagrożeń jest nieuniknione. Istotnym celem każdego dowódcy lotniczego, jest zwiększanie zdolności do realizacji zadań lotniczych. Efekt ten jest możliwy do osiągnięcia poprzez systematyczne zarządzanie procesami eksploatacji i zdadności do lotów oraz ryzykiem zagrożeń. Autor rozprawy na podstawie obserwacji oraz własnych doświadczeń wynikających z pracy zawodowej w rozważanym obszarze zauważa pewnego rodzaju uchylenie poziomu bezpieczeństwa w systemie użytkowania samolotów lotnictwa taktycznego. Uwaga autora zostaje skupiona na elementach systemów bezpieczeństwa funkcjonujących w lotnictwie taktycznym, w którym odnotowywane ostatnio przypadki niezdatności stanowią znaczące źródła zagrożeń. Stąd też wynikają kierunki rozważań prowadzonych w ramach niniejszej rozprawy. Sformułowany cel główny rozprawy został osiągnięty poprzez realizację zadań badawczych wynikających z celów częściowych. Zadania badawcze zgodnie z przyjętym schematem procesów analizy uszkodzeń i zarządzania ryzykiem zagrożeń zostały zrealizowane, a ich wyniki zaprezentowano w kolejnych częściach rozprawy.

## **PODSUMOWANIE**

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autor wykazał się wiedzą, doświadczeniem i szerokim spojrzeniem na badaną problematykę. W sposób zwięzły i logiczny wyodrębnił najistotniejsze problemy badawcze oraz określił sposoby i metody odpowiednie do ich rozwiązania.



Za istotne osiągnięcia Doktoranta uważam:

- opracowanie metodyki tworzenia modeli eksploatacyjnych analizy uszkodzeń i rozszerzenie zarządzania ryzykiem zagrożeń obszaru analiz, jakim jest system użytkowania samolotów wielozadaniowych lotnictwa taktycznego;
- zastosowanie opracowanych modeli w obszarze analiz związanym z profilaktyką zdarzeń podczas wykonywaniem złożonych zadań lotniczych;
- rozszerzenie modelu ryzyka o współczynnik wartości wielkości wykorzystanego ресурсu samolotu i silnika.

Praca doktorska stanowi wkład w rozwój badań nad oceną bezpieczeństwa systemów użytkowania i eksploatacji samolotów F-16 oraz metod zarządzania ryzykiem zagrożeń w systemie użytkowania i eksploatacji samolotów wielozadaniowych, jednakże wykorzystanie jej wyników w praktyce wymaga digitalizacji opracowanych modeli.

Reasumując uważam, że rozprawa doktorska mgra inż. Rafała Zadenckiego nt.:

*"Analiza uszkodzeń samolotów wielozadaniowych F-16 Blok 52+ podczas ich eksploatacji"*

spełnia warunki określone w art. 179, ust. 1. „Ustawa z dnia 3.07.2018 r. Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce” ( Dz. U. z 2018 r. poz. 1669). **W związku z powyższym:**

*Stawiam wniosek o przyjęcie rozprawy doktorskiej i dopuszczenie mgra inż. Rafała Zadenckiego do obrony.*



Leszek CWOJDZIŃSKI  
gen. dyw.(rez) pil. dr hab. inż.