

Dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. uczelni  
Politechnika Warszawska  
Wydział Transportu  
ul. Koszykowa 75  
00-662 Warszawa

Warszawa, 03.11.2022 r.

**Recenzja rozprawy doktorskiej**  
**ppłk mgra inż. Grzegorza Kozłowskiego**  
**pt. Metoda optymalizacji procesu eksploatacji**  
**statków powietrznych w szkoleniu lotniczym**

**1. Podstawa opracowania recenzji**

Podstawą wykonania recenzji jest pismo Koordynatora Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna dra hab. inż. Andrzeja Komorka, prof. LAW z dnia 10 października 2022 r. o powołaniu na recenzenta rozprawy doktorskiej mgra inż. Grzegorza Kozłowskiego pt. „Metoda optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym” (zgodnie z Uchwałą nr 41/2022 Rady Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Federacji Akademii Wojskowych z dnia 30 września 2022 r.).

Recenzowana rozprawa doktorska z obszaru nauk inżynieryjno-technicznych (dyscyplina inżynieria mechaniczna) została wykonana w Lotniczej Akademii Wojskowej pod kierunkiem naukowym Promotora płk rez. dra hab. inż. Norberta Grzesika, prof. LAW i Promotora pomocniczego ppłk rez. dra inż. Roberta Czapli.

Pan Grzegorz Kozłowski uzyskał tytuł zawodowy mgra inż. (spec. Eksploatacja samolotów i śmigłowców) na Wydziale Mechatroniki Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego w Warszawie w 2001 r. Doktorant nie ubiegał się uprzednio o nadanie stopnia doktora. Obecnie jest Dowódcą Grupy Obsługi Technicznej Akademickiego Centrum Szkolenia Lotniczego LAW. Za istotne osiągnięcie należy uznać współautorstwo 17 projektów racjonalizatorskich w obszarze techniki lotniczej, z czego 15 wdrożono w jednostkach wojskowych.

**2. Treść i zakres rozprawy doktorskiej**

Opiniowana rozprawa doktorska zawiera 194 strony. Składa się z: spisu treści, wykazu ważniejszych skrótów i oznaczeń, streszczenia (w wersji polskiej i angielskiej), wstępu, ponumerowanych rozdziałów (w tym m.in. tezy, celu i zakresu pracy), wniosków końcowych,

bibliografii, spisu tabel i rysunków, trzech załączników. Układ pracy nie budzi istotnych zastrzeżeń, a sformułowana teza naukowa jest spójna i logiczna.

Na początku rozprawy doktorskiej Autor we wstępie przedstawił problematykę eksploatacji statków powietrznych, przy czym zwrócił szczególną uwagę na polskie lotnictwo wojskowe. Analizując dane statystyczne z zakresu katastrof lotniczych zaistniałych w Lotnictwie Sił Zbrojnych RP w latach 1945-2010 podano najistotniejsze przyczyny tych zdarzeń. Słuszne zatem było podejście wdrażania czynności zapobiegawczych (w tym w szczególności z obszaru diagnostyki, niezawodności i eksploatacji) mających na celu zmniejszenie liczby katastrof i awarii. Metoda opracowana przez Autora ma poprawić dostępność statków powietrznych przeznaczonych do szkolenia lotniczego.

W rozdziale „1. Analiza literatury” zamieszczono informacje wprowadzające w tematykę rozprawy doktorskiej. W tym celu zostały wykorzystane m.in. dane dotyczące samolotu TS-11 „Iskra”. Analiza tych danych utwierdziła Autora, że „w dużej mierze pokryły się z wnioskami wyciągniętymi z eksploatacji śmigłowca SW-4 „Puszczyk””. Z tego też względu podjął się opracowania metody usprawnienia procesu eksploatacji, dzięki której będzie możliwe przeciwdziałanie sytuacjom nieplanowych postojów statków powietrznych. W rozdziale tym scharakteryzowano także strategie eksploatacyjne (wg resursu, wg stanu technicznego, wg niezawodności, wg niezawodności i poziomu bezpieczeństwa z nastawieniem na minimalizowanie kosztów – RCM (ang. Reliability Centered Maintenance)). Istotnym zagadnieniem scharakteryzowanym w rozdziale są metody prognozowania i utrzymania zapasów części zamiennych (metoda MRP (ang. Material Requirements Planning) planowanie potrzeb materiałowych w produkcji, metoda ABC sterowania zapasami, stochastyczne modele sterowania zapasami). W podsumowaniu rozdziału słusznie stwierdzono, że przedstawione metody utrzymania zapasów nie uwzględniają specyfiki lotnictwa wojskowego (m.in. zmian dynamiki szkolenia lotniczego, nowo wprowadzonych biuletynów technicznych). Zatem autorskie podejście Doktoranta do optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym jest zasadne.

Rozdział drugi zawiera tezę, cel i zakres pracy. W wyniku przeprowadzonych w poprzednim rozdziale rozważań Doktorant sformułował następującą tezę:

*Wykorzystanie współczynników niezawodnościowych MTBF i MTTF pozwoli na zwiększenie dostępności statku powietrznego do wykonania zadania lotniczego.*

Sformułował także następujące dwa cele główne:



*opracowanie algorytmu planowania logistycznego do zabezpieczenia czynności obsługowych, który za kryterium do podjęcia decyzji planistycznej przyjmuje wskaźnik MTBF/MTTF wpływającego na zwiększenie dostępności statków powietrznych do szkolenia lotniczego*

i

*opracowanie formuły planowania (wzoru planowania logistycznego) części wielorazowego i jednorazowego użytku, które powinny uwzględniać nieplanowe awarie i usterki.*

Cele podane przez Doktoranta wpisują się w aktualną problematykę prac naukowych nad racjonalizacją procesu eksploatacyjnego statków powietrznych (w tym w szczególności wykorzystywanych w lotnictwie wojskowym). Zatem działania podjęte przez Autora należy uznać za zasadne i potrzebne.

W rozdziale trzecim zamieszczono rozważania dotyczące wskaźników niezawodności techniki lotniczej. Scharakteryzowano m.in. wskaźniki wykorzystywane do oceny eksploatacji techniki lotniczej na szczeblu centralnym (z odniesieniem do załącznika 1 w którym to przedstawiono wybrane wskaźniki eksploatacyjne wykorzystywane w Systemie Informatycznym Wsparcia Eksploatacji SAMANTA) oraz wskaźniki MTBF, MTDD, MTTR i MTTF. W podsumowaniu Autor słusznie stwierdza, że „wskaźniki niezawodnościowe ułatwiają prawidłowe organizowanie procesów użytkowych i obsługowych, w tym także planowanie zaopatrzenia w części zamienne”.

Jednym z istotniejszych w rozprawie doktorskiej jest rozdział czwarty poświęcony analizie danych eksploatacyjnych w aspekcie poprawy dostępności statków powietrznych. Autor przyjął jako przedmiot badań śmigłowiec SW-4 „Puszczyk”, który jest wykorzystywany do prowadzenia praktycznego szkolenia lotniczego podchorążych. Jest to jednosilnikowy śmigłowiec przeznaczony do przewozu max. 5 osób (członków załogi i pasażerów). Strategia eksploatacji śmigłowca SW-4 jest strategią wg ustalonego resursu, który to jest określony w biuletynie technicznym. Jednocześnie też są realizowane działania wymagane przez producenta (tj. wykonywanie obsług technicznych zgodnie z dokumentacją producenta, wykonywanie wymian części krytycznych i części o ograniczonym okresie zdadności do lotu, wykonanie napraw głównych określonych zespołów). Takie podejście powinno zapewnić, iż śmigłowiec powinien zachować pełną zdadność do lotu w ustalonych okresach między obsługowych. W ramach obsług wyróżniono: obsługi bieżące, obsługi okresowe i obsługi specjalne. Doktorant poddał analizie dane z lat 2011-2019 uzyskane z Systemu Informatycznego Wsparcia Eksploatacji SAMANTA, które uzupełnił danymi pochodzącymi z kart obsługi statku powietrznego i kart niesprawności statku powietrznego (przedstawiono w załączniku 2). Do istotnych danych należą „Stopień wykorzystania maksymalnego resursu



z podziałem na pojedyncze egzemplarze”, „Przebieg nalotu floty śmigłowców SW-4 w latach 2011-2019”, „Przebieg średniego planu wykorzystania ресурсu i rzeczywistego wykorzystania ресурсu w latach 2011-2019”, „Zestawienie pracochłonności poszczególnych obsłóg okresowych śmigłowca SW-4”, „Liczba wykrytych usterek z podziałem wg miejsca ich wykrycia w latach 2012-2019”. Autor w podsumowaniu stwierdza, iż „główną przyczyną braku odpowiedniej dostępności śmigłowców do szkolenia lotniczego był brak części zamiennych w magazynie ZLT (Zaopatrzenie Lotniczo-Techniczne)”. W dalszej części tego rozdziału dokonano szczegółowej analizy danych eksploatacyjnych wybranych podzespołów: śmigło ogonowe, przekładnia główna (PG-4), nakładki płóz podwozia, momentomierz, układ pomiaru prędkości obrotowej  $N_2$  turbiny napędowej, sygnalizator opłków, sztuczny horyzont, układ pomiarowy ciśnienia oleju w zespole napędowym. Obliczono dla nich wartość wskaźnika średniego czasu do uszkodzenia MTTF (ang. Mean Time To Failure) oraz przedstawiono graficznie co jest istotnym ułatwieniem w zakresie interpretacji zmienności. Uzyskane wyniki mogą zostać wykorzystane do ustalania potrzeb logistycznego zabezpieczenia szkolenia lotniczego. Z tego też względu w kolejnym podrozdziale opisano etapy planowania logistycznego zabezpieczenia szkolenia lotniczego. Istotnym autorskim wkładem Doktoranta jest przeprowadzenie symulacji potrzeb logistycznych w oparciu o wskaźnik MTTF (podrozdział 4.6). Porównano wyniki wyliczeń planowanych potrzeb logistycznych na 2020 r. dla wybranych agregatów śmigłowca SW-4 z rzeczywistą liczbą wymian. W większości przypadków uzyskano zbieżne wyniki co pozwala stwierdzić, że przyjęta metodyka planowania logistycznego części wymiennych może być wdrożona (po uwzględnieniu określonych wymagań). Ta część rozprawy jest dobrze zrealizowana i jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia możliwości praktycznego zastosowania.

W rozdziale piątym zawarto matematyczny opis prognozy czasu do uszkodzenia. W tym celu Autor przybliżył podstawowe zagadnienia z teorii niezawodności i eksploatacji. Zwrócił przy tym szczególną uwagę na następujące rozkłady: wykładniczy, Weibulla, normalny i lognormalny. W rozdziale tym opisano także estymacje wartości paramentów eksploatacyjnych, która zostanie zastosowana w celu dopasowania modelu funkcji rozkładu do uzyskanych danych eksploatacyjnych wybranych podzespołów. Wyniki obliczeń dla wybranych podzespołów przedstawiono zarówno w formie tabelarycznej jak i graficznej.

W rozdziale szóstym zamieszczono wskaźniki niezawodnościowe wyznaczone metodami statystycznymi. Do przeprowadzenia estymacji wskaźnika MTTF oraz innych wybranych parametrów teoretycznych Doktorant wykorzystał specjalistyczne oprogramowanie. Jako dane wejściowe wykorzystano dane eksploatacyjne przedstawione



w rozdziale 4 oraz informacje o usterkach i awariach śmigłowców SW-4 z lat 2012-2019. W wyniku obliczeń wyznaczono dla wybranych podzespołów następujące wartości:

- „ $Q(300)$  prawdopodobieństwo wystąpienia awarii przy planowanym nalocie, równym docelowej rocznej normie eksploatacji śmigłowca - 300 [FH] (ang. Flight hours – godziny lotu);
- $Q(MTTF_D)$  prawdopodobieństwo wystąpienia awarii przy osiągnięciu nalotu równego wartości  $MTTF_D$ ;
- $MTTF$  [FH] – teoretyczna prognoza średniego czasu życia wyznaczonego na podstawie wybranego rozkładu statystycznego;
- $MTTF$  [FH] z dwustronnym przedziałem ufności 0,9 – uszczegółowiona wartość teoretycznego wskaźnika, wyznaczona z tzw. danych obciążonych obustronnie o wartość po 0,05 na każdą ze stron”.

Umożliwia to porównanie powyższych wartości uzyskanych w wyniku symulacji dla poszczególnych rozkładów (wykładniczy, Weibulla, normalny i lognormalny) z wartościami otrzymanymi w sposób empiryczny. Podsumowaniem licznych obliczeń jest stwierdzenie, że „najlepsze dopasowanie do rzeczywistych wartości  $MTTF_D$  wykazują rozkłady Weibulla i lognormalny. Potwierdza to słuszność przyjętych założeń zaproponowanej formuły planowania logistycznego”. Ta część rozprawy jest bardzo dobrze zrealizowana i jest ona szczególnie istotna z punktu widzenia modelowania teoretycznego. Przeprowadzona analiza wykazała słuszność rozważań naukowych zawartych w rozprawie doktorskiej, a tym samym celowość podjętej tematyki optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym. Jest to ważne z punktu widzenia praktycznego wdrożenia opracowanej metody. Koncepcje badań i uzyskane wyniki należy uznać za znaczący wkład Doktoranta w rozważanym obszarze badawczym.

Następnie zamieszczono wnioski końcowe, które są prawidłowe. Doktorant prawidłowo interpretuje wyniki uzyskane podczas przeprowadzonych badań i symulacji. Przeprowadzone rozważania potwierdziły słuszność postawionej tezy rozprawy doktorskiej oraz zrealizowanie obu celów głównych. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż opracowana procedura planowania logistycznego związana z potrzebami wynikającymi z planowych obsług technicznych, w tym metoda określenia potrzeb logistycznych, wynikających z nieprzewidzianych awarii lub uszkodzeń może być zastosowana w praktyce. Zwiększy to znacząco wskaźnik gotowości statków powietrznych wykorzystywanych w wojskowym szkoleniu lotniczym. W końcowej

części wniosków podano potencjalne obszary zastosowania opracowanej metody planowania logistycznego.

Następnie zamieszczono bibliografię (73 pozycje typu monografie, artykuły, publikacje konferencyjne, biuletyny eksploatacyjne, polskie i zagraniczne), spis tabel, spis rysunków, załączniki (Załącznik nr 1 Wybrane wskaźniki eksploatacyjne wykorzystywane w Systemie Informatycznym Wsparcia Eksploatacji SAMANTA; Załącznik 2 Karta niesprawności statku powietrznego; Załącznik 3 Pakiety logistyczne do realizacji wybranych poziomów obsługi śmigłowiec SW-4). Dobór pozycji bibliograficznych jest trafny, a sposób cytowania prawidłowy. Doktorant wykazał się umiejętnością doboru literatury naukowej, niezbędnej do opracowania tematu rozprawy doktorskiej.

Rozprawa doktorska jest napisana poprawnym językiem z użyciem prawidłowego słownictwa i terminologii technicznej z omawianego obszaru.

### **3. Ocena merytoryczna rozprawy doktorskiej**

Problematyka racjonalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych jest zagadnieniem niezwykle istotnym, gdyż stan techniczny wpływa bezpośrednio na bezpieczeństwo załogi i pasażerów. Działania w tym zakresie są realizowane zarówno przez producentów statków powietrznych jak też i organizacje lotnicze je użytkujące. Pomimo znacznego wzrostu możliwości diagnostycznych i zastosowania zaawansowanych rozwiązań teleinformatycznych nadal występują awarie (stany niezdatności). Dlatego też tak istotne jest opracowywanie nowych metod mających na celu zwiększenie wskaźnika gotowości statków powietrznych. To zagadnienie jest szczególnie istotne w aspekcie wojskowego szkolenia lotniczego. Słusznie zatem Autor sformułował tezę i dwa cele główne. Zrealizowane działania należy uznać za zasadne i potrzebne. Realizacja zadań szkoleniowych i działań operacyjnych wymaga by statki powietrze cechowały się odpowiednim poziomem niezawodności i bezpieczeństwa realizacji zadań. Zatem rozprawa doktorska pt. „Metoda optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym” wpisuje się w obecne działania środowisk badawczych (uczelniach, instytutowych i przemysłowych).

W podrozdziale „3.2. Charakterystyka wskaźników MTBF, MTDD, MTTR i MTTF” podano, że „Jeżeli miarą pracy obiektu technicznego np. statku powietrznego jest czas lotu  $[FH]$ , wówczas:  $MTBF=MTTF$  oraz  $MTDD=0$  i  $MTTR=0$ ”. Proszę o scharakteryzowanie przyjętego założenia.

W rozdziale „6. Wskaźniki niezawodnościowe wyznaczone metodami statystycznymi” przyjęto, że zostaną wyznaczone następujące wskaźniki:  $Q(300)$ ,  $Q(MTTF_D)$ , MTTF, MTTF



z dwustronnym przedziałem ufności 0,9. Czy rozważano wyznaczenie jeszcze innych dodatkowych wskaźników, które mogłyby być korzystne dla dalszej rozbudowy autorskiej metody?

W rozdziale „6. Wskaźniki niezawodnościowe wyznaczone metodami statystycznymi” zastosowano do wyznaczenia wskaźników niezawodnościowych następujące rozkłady: Weibulla, lognormalny, wykładniczy i normalny. Czy rozważano również inne rozkłady i dla nich przeprowadzono symulacje?

W rozprawie doktorskiej zaprezentowano autorskie rozważania z zakresu opracowania metody optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym (w tym w szczególności wykorzystania wybranych wskaźników niezawodnościowych do szacowania potrzeb logistycznych do zabezpieczenia procesu eksploatacji statków powietrznych). Przeprowadzone obliczenia i symulacje są dokładnie opisane, zaś wyniki które uzyskano są dobrze przedstawione (zarówno w formie tabelarycznej jak i graficznej). W przyszłości można by opracować aplikację komputerową, zwłaszcza, że Autor podaje w wnioskach końcowych, iż „metoda planowania logistycznego może być stosowana w procesie logistycznego zabezpieczenia procesu szkolenia lotniczego do dowolnego statku powietrznego”. Znacząco ułatwiłoby to zastosowanie przedstawionych rozważań w praktyce podczas planowania procesu eksploatacji statków powietrznych wykorzystywanych w wojskowym szkoleniu lotniczym.

#### **4. Uwagi ogólne i szczegółowe**

Recenzowana rozprawa ma charakter teoretyczno-praktyczny. Do wykonania jej niezbędna była bardzo dobra znajomość zagadnień związanych z procesem eksploatacji statków powietrznych wykorzystywanych w wojskowym szkoleniu lotniczym. Na podkreślenie zasługuje fakt, iż dla przedstawionych rozważań Autor widzi praktyczne zastosowanie w ramach racjonalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych. Cenna jest inicjatywa Autora by opracowaną autorską metodę zaimplementować do procesu planowania logistycznego.

Rozprawa doktorska jest napisana w dużej części językiem komunikatywnym. Rysunki są czytelne i estetycznie wykonane. Strona edycyjna pracy reprezentuje dobry poziom i świadczy o znajomości techniki składu komputerowego. Drobnym mankamentem są nieliczne błędy edytorskie, ale nie wpływają one znacząco na odbiór treści merytorycznej przez czytelnika. Są to m.in.:

niejasność interpretacji wypowiedzi, np.:

- str. 20: „śmigłowiec szkolny SW-4 „Puszczyk” dane, eksploatowany”,
- str. 119: „Jednakże, analizując dane liczbowe otrzymane z poszczególnych wskaźników liczbowych, zawartych w tab. 6.1., wynika, że wartość wskaźnika MTTF dla rozkładu normalnego jest tożsama z wartością estymowanego rozkładem lognormalnym.”,
- str. 119: „Wynika to z tego, że liczba uszkodzeń związana ze śmigłem ogonowym utrzymuje się na podobnym poziomie, niezależnie od czasu eksploatacji. Estymowany parametr kształtu  $\beta$ , który w przybliżeniu wynosi 1.”,

błędy literowe, np.:

- str. 27: „Analizę FMAE rozpoczyna”,
- str. 30: rys. 2.2 (dwukrotnie),
- str. 90: „i przyszłości”,
- str. 93: „wzorów 6.7÷6.10”,

inne, np.:

- str. 5 i 39: brak numeracji podrozdziału,
- str. 129, tab. 6.3, 3 wiersz od góry: „Typ Rozkładu”
- str. 134, tab. 6.4, 3 wiersz od góry: „Typ Rozkładu”.

## 5. Wniosek końcowy

Mając na uwadze powyższą ocenę zawartości rozprawy doktorskiej ppłk mgra inż. Grzegorza Kozłowskiego pt. „Metoda optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym” stwierdzam, że praca spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Uważam, że Doktorant wykazał się w swojej rozprawie doktorskiej umiejętnością zaplanowania i rozwiązania postawionego problemu badawczego w sposób oryginalny. Przyjęte przez Doktoranta cele pracy zostały osiągnięte a teza rozprawy udowodniona.

Na podstawie przedstawionej opinii stwierdzam, że **praca spełnia wszystkie wymagania stawiane rozprawom doktorskim wszczętym przed 30 kwietnia 2019 roku, w tym względnie obowiązujące przepisy** to: *ustawa z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789 ze zm.) oraz rozporządzenie Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz. U. z 2018 r., poz. 261), w związku z art. 179 ust. 1-3 ustawy z dnia 3 lipca 2018 r.*



Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669 ze zm.) i rozporządzeniem Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 20 września 2018 r. w sprawie dziedzin nauki i dyscyplin naukowych oraz dyscyplin artystycznych (Dz. U. z 2018 r., poz. 1818). Pozytywnie oceniam przedstawioną rozprawę doktorską pod tytułem „Metoda optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym” i może ona stanowić podstawę do nadania pplk mgr inż. Grzegorzowi Kozłowskiemu stopnia naukowego doktora nauk inżynieryjno-technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna. Wnioskuje o przyjęcie i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

.....*A. Rosiński*.....  
dr hab. inż. Adam Rosiński, prof. uczelni