

dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL  
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych  
tel.: 261-851-332  
e-mail: mariusz.zieja@itwl.pl

Warszawa, 17.11.2022

## **Recenzja**

### **rozprawy doktorskiej ppłk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO „Metoda optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym”**

#### **1. Podstawa opracowania**

Recenzję wykonano na podstawie Umowy o dzieło nr 33/2022 na sporządzenie recenzji zawartej w dniu 02.11.2022r. oraz pisma Koordynatora Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Federacji Akademii Wojskowych - dr. hab. inż. Andrzeja KOMORKA, prof. LAW, z dn. 10.10.2022r.

Przekazana do recenzji rozprawa została opublikowana przez Wydawnictwo Lotniczej Akademii Wojskowej w 2022 roku.

Promotorem rozprawy doktorskiej jest płk rez. dr hab. inż. Norbert Grzesik, prof. LAW.

Promotorem pomocniczym rozprawy doktorskiej jest ppłk rez. dr inż. Robert CZAPLA.

#### **2. Ocena doboru tematu rozprawy**

Tematyka podjęta przez Doktoranta związana jest z problemami eksploatacji wojskowych statków powietrznych, a w szczególności dotyczy obszaru planowania części zamiennych. Przedmiotem rozprawy jest opracowanie algorytmu planowania logistycznego uwzględniającego nieplanowane awarie statków powietrznych. Formuła planowania logistycznego oparta jest na wskaźniku niezawodnościowym charakteryzującym średni czas do uszkodzenia oraz wskaźnik wymiany urządzenia. Jako obiekt badań wybrano śmigłowiec SW-4 „Puszczyk” wykorzystywany do szkolenia lotniczego w siłach Zbrojnych RP.

Przeprowadzone przez Doktoranta przegląd i analiza danych dotyczących wypadków lotniczych zaistniałych w lotnictwie komercyjnym w latach 1959-2010 oraz

katastrof lotniczych zaistniałych w lotnictwie Sił Zbrojnych RP w latach 1945-2010 wykazały różnorodność ich przyczyn. W celu zmniejszenia liczby zdarzeń lotniczych wprowadza się szereg czynności zapobiegawczych. Całkowicie zgadzam się z opinią Doktoranta, że działaniami korygującymi mogą być np. dodatkowe czynności profilaktyczne lub zwiększenie częstotliwości poszczególnych przeglądów w przypadku pogorszenia się poziomu niezawodności lub zwiększenie interwałów obsługowych w przypadku widocznego podniesienia się poziomu niezawodności.

Doktorant trafnie zauważył, że głównym celem każdej organizacji lotniczej użytkującej statki powietrzne powinno być wypracowanie takich zasad eksploatacji, które pozwolą na wykorzystanie statków powietrznych zgodnie z przeznaczeniem przy zachowaniu odpowiedniego poziomu bezpieczeństwa wykonywanych zadań. Procesy obsługowe i logistyczne łańcucha dostaw części zamiennych powinny zostać tak dobrane i zoptymalizowane, aby redukować czas postoju statków powietrznych do niezbędnego minimum.

Dokonany przez Autora przegląd literatury oraz dokumentacji normatywnej wskazuje na brak kompleksowej metody sterowania zapasami uwzględniającej specyfikę procesu logistycznego zabezpieczenia potrzeb lotnictwa szkolnego, który cechuje się dużą dynamiką zmian. Opisane w literaturze przedmiotu metody sterowania zapasami zostały opracowane na podstawie doświadczeń wynikających z zarządzania magazynem części zamiennych. Metody te bardzo dobrze sprawdzają się w stałych sytuacjach i ustalonych warunkach, gdzie zmiana popytu jest mało dynamiczna.

Uważam, że w świetle analizy dokumentów normatywnych oraz światowej literatury zagadnienia Doktorant podjął się niezwykle ważnego i jednocześnie trudnego zadania polegającego na opracowaniu metody optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym. Z utylitarnego punktu widzenia istotnym zagadnieniem podjętym przez Autora jest opracowanie formuły planowania techniczno-materiałowego zabezpieczenia lotów z uwzględnieniem wskaźników niezawodnościowych.

**Reasumując, uważam, że podjęcie przez ppłk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO w rozprawie o charakterze metodologiczno-analitycznym problematyki oceny optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym należy uznać za uzasadnione, zarówno pod względem poznawczym oraz utylitarnym. Sformułowanie tematu rozprawy doktorskiej**

uważam za właściwe, ponieważ w sposób prawidłowy oddaje jej tematykę, która jest aktualna w świetle wymagań niezawodności i bezpieczeństwa stawianych w transporcie lotniczym.

### 3. Struktura pracy

Przedłożona do oceny rozprawa doktorska obejmuje:

- 194 strony maszynopisu (w tym stronę tytułową, streszczenia w języku polskim i angielskim, spis treści, wykaz ważniejszych skrótów i oznaczeń, spis tabel i rysunków),
- 88 ponumerowanych rysunków;
- 23 ponumerowane tabele;
- bibliografię liczącą 73 pozycje krajowe i zagraniczne, w tym 1 autorską publikację Doktoranta.

Ponadto do pracy załączono 3 załączniki:

Załącznik 1 - Wybrane wskaźniki eksploatacyjne wykorzystywane w Systemie Informatycznym Wsparcia Eksploatacji – SAMANTA;

Załącznik 2 - Karta niesprawności statku powietrznego;

Załącznik 3 - Ankiety logistyczne do realizacji wybranych poziomów obsługi dla śmigłowca SW-4.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 1÷6. Wstęp rozprawy stanowi wprowadzenie do identyfikacji jej obszaru badawczego. Zasadnicza część rozprawy została opatrzona zakończeniem będącym podsumowaniem podjętego wysiłku badawczego Doktoranta oraz wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych w pracy rozważań.

Rozprawa została napisana poprawnym językiem i spełnia standardy edytorskie stawiane rozprawom doktorskim. Układ pracy jest przejrzysty, a podział treści rozprawy na rozdziały i podrozdziały nie budzi większych zastrzeżeń. Tytuły poszczególnych rozdziałów odpowiadają ich zawartości. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy są w większości poprawnie zdefiniowane. Materiały ilustracyjne oraz tabele zamieszczone w pracy w sposób właściwy przedstawiają rozważania Doktoranta dotyczące logistycznego zabezpieczenia procesu eksploatacji statków powietrznych wykorzystywanych do szkolenia lotniczego.

Pod względem redakcyjnym rozprawa przygotowana jest starannie. Wprawdzie zawiera drobne błędy redakcyjne i stylistyczne, ale nie mają one wydatnego wpływu na wartość merytoryczną pracy.

#### **4. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy**

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autor podjął się rozwiązania złożonego zagadnienia dotyczącego opracowania algorytmu planowania logistycznego zawierającego formułę planowania związaną z niezaplanowanymi uszkodzeniami.

We **Wstępie** (6 stron) Doktorant w sposób syntetyczny zasygnalizował problematykę bezpieczeństwa lotów w lotnictwie cywilnym oraz wojskowym, a także przedstawił przesłanki, które sprawiły podjęcie w dysertacji tematyki optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym. Ponadto, Doktorant przedstawił problematykę eksploatacji statków powietrznych oraz zidentyfikował podstawowe trudności związane z logistycznym procesem zabezpieczenia ich sprawności.

**Rozdział pierwszy** (16 stron) zawiera genezę podjęcia tematu dysertacji oraz przegląd literatury przedmiotu wraz z jej analizą pod kątem badanej problematyki. Doktorant na podstawie danych eksploatacyjnych dotyczących samolotów TS-11 „Iskra”, śmigłowca SW-4 „Puszczyk” oraz innych typów statków powietrznych trafnie dostrzegł potrzebę przeprowadzenia szczegółowej analizy przyczyn przestoju, zidentyfikowania możliwych obszarów poprawy sytuacji oraz opracowania metody, przy pomocy której możliwe będzie przeciwdziałanie sytuacjom nieplanowanych postojów wojskowych statków powietrznych. Na podstawie analizy literatury Doktorant zidentyfikował następujące strategie eksploatacji statków powietrznych:

- strategia eksploatacji wg resursu,
- strategia eksploatacji wg stanu technicznego,
- strategia eksploatacji wg niezawodności,
- strategia eksploatacji wg niezawodności i poziomu bezpieczeństwa z nastawieniem na minimalizowanie kosztów (ang. Reliability Centered Maintenance).

Doktorant dokonał również krytycznej analizy wybranych metod prognozowania i utrzymania zapasów części zamiennych:

- metoda planowania potrzeb materiałowych w produkcji (ang. Material Requirements Planning),
- metoda ABC sterowania zapasami,
- stochastyczne modele sterowania zapasami.

Dodatkowo w swoich rozważaniach Doktorant uwzględnił specyfikę planowania zabezpieczenia lotniczo-technicznego wojskowego lotnictwa szkolnego. Na podstawie przeprowadzonych analiz doktorant trafnie zdefiniował lukę badawczą, ponieważ przedstawione w literaturze metody utrzymania zapasów nie uwzględniają:

- zmian dynamiki szkolenia lotniczego – zmian nalotu;
- nowo wprowadzanych egzemplarzy danego sprzętu;
- podzespołów o ograniczonym resursie (ang. Time Limit Life);
- nowo wprowadzanych biuletynów technicznych;
- zmian w intensywności strumienia nieplanowanych uszkodzeń występujących w czasie eksploatacji.

**Obszar badawczy nakreślony przez Doktoranta uważam za trafny i aktualny w świetle literatury przedmiotu.**

**Rozdział drugi** (3 strony) zawiera tezę, zakres pracy oraz cele rozprawy doktorskiej. Biorąc pod uwagę posiadaną wiedzę teoretyczną, a w szczególności praktyczną wynikającą z eksploatacji statków powietrznych: An-2, TS-11 „Iskra”, SW-4 „Puszczyk” oraz M-346 „Bielik” Doktorant podjął próbę optymalizacji procesu eksploatacji wojskowych statków powietrznych w szkoleniu lotniczym poprzez opracowanie algorytmu planowania logistycznego zawierającego formułę planowania związaną z uszkodzeniami o charakterze losowym. Do przeprowadzenia badań wybrano uszkodzenia zaistniałe na śmigłowcu SW-4.

**Zatem, wybór śmigłowca jako obiektu badań uważam za uzasadniony ze względu na konieczność uwzględniania zmian dynamiki szkolenia lotniczego w metodach sterowania zapasami wykorzystywanymi w ramach logistycznego zabezpieczenia potrzeb lotnictwa wojskowego.**

Prawidłowo zdefiniowany przedmiot badań oraz właściwie przeanalizowane problemy badawcze pozwoliły Doktorantowi na postawienie następującej tezy:

„Wykorzystanie współczynników niezawodnościowych MTBF i MTTF pozwoli na zwiększenie dostępności statku powietrznego do wykonywania zadania lotniczego”.

Prawidłowo postawiona teza rozprawy doktorskiej pozwoliła Doktorantowi na zdefiniowanie następujących jej celów:

- opracowanie algorytmu planowania logistycznego do zabezpieczenia czynności obsługowych, który za kryterium do podjęcia decyzji planistycznych przyjmuje wskaźnik MTBF/MTTF;
- opracowanie formuły planowania (wzoru planowania logistycznego) części wielorazowego i jednorazowego użytku, która powinna uwzględniać nieplanowane uszkodzenia statku powietrznego.

**Zarówno postawioną tezę jak i zdefiniowane cele badawcze uważam za właściwe.**

**Rozdział trzeci** (11 stron) stanowi przegląd literatury, który został wykonany przez Doktoranta na podstawie publikacji naukowych dotyczących wskaźników niezawodnościowych. W pierwszej części rozdziału scharakteryzowano wskaźniki niezawodnościowe wykorzystywane w lotnictwie Sił Zbrojnych RP, które są dostępne w Systemie Informatycznego Wsparcia Eksploatacji Statków Powietrznych – SI SAMANTA. Zdaniem Doktoranta poza wieloma wskaźnikami eksploatacyjnymi wykorzystywanymi w lotnictwie SZ RP można również wykorzystywać wskaźniki niezawodnościowe stosowane przez lotnictwo wojskowe państw NATO:

- średni czas między uszkodzeniami – MTBF,
- średni czas do uszkodzenia – MTTF,
- średni czas do wykrycia uszkodzenia – MTTD,
- średni czas naprawy MTTR.

Z przeprowadzonego przez ppłk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO przeglądu literatury wynika, że należy dostosować funkcjonalności SI SAMANTA w taki sposób, aby użytkownik w intuicyjny sposób mógł przeprowadzić analizę niezawodności eksploatowanego sprzętu lotniczego.

W **rozdziale czwartym** (41 stron) Doktorant przedstawił charakterystykę obiektu badań – śmigłowca SW-4 „Puszczyk” wykorzystywanego do szkolenia lotniczego w Siłach Zbrojnych RP. Została również przedstawiona analiza danych eksploatacyjnych śmigłowca SW-4 „Puszczyk”. W dalszej części rozdziału Doktorant przedstawił szczegółową analizę wybranych grup uszkodzeń obiektu badań. Na

podstawie przeprowadzonej analizy Autor trafnie zauważył, że analiza zmian wartości wskaźnika MTTF umożliwia podejmowanie działań naprawczych lub profilaktycznych oraz może być czynnikiem decydującym w procesie ustalania potrzeb logistycznego zabezpieczenia szkolenia lotniczego. W ostatniej części rozdziału zaprezentowano opracowany algorytm postępowania logistycznego do zabezpieczenia zakładanego nalotu z podziałem na poszczególne etapy. Doktorant przedstawił formułę planowania techniczno-materiałowego z uwzględnieniem wskaźników niezawodnościowych. Przedstawiono również wyniki weryfikacji opracowanej formuły planowania logistycznego. Na podstawie analizy danych eksploatacyjnych z lat 2012-2019 wyznaczono wartości liczbowe wskaźników niezawodnościowych (MTTF) dla wybranych grup uszkodzeń, obliczono teoretyczne potrzeby materiałowe danych urządzeń w stosunku do zaplanowanego nalotu śmigłowców SW-4 na rok 2020 i porównano wyniki teoretycznego planowania z rzeczywistymi wymianami urządzeń jakich dokonano w 2020r.

**Biorąc pod uwagę aspekt rozprawy doktorskiej tą część rozdziału czwartego uważam za najbardziej wartościową, ponieważ opracowana formuła stanowi nowatorskie podejście do planowania potrzeb materiałowych i jest uzupełnieniem dotychczasowych praktyk stosowanych w tym obszarze.**

W rozdziale 5 (27 stron) Doktorant przedstawił matematyczne aspekty opisywania obiektów technicznych oraz wybrane rozkłady statystyczne charakteryzujące prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia. W dalszej części rozdziału przedstawiono wyliczenia współczynnika korelacji danych eksploatacyjnych dla poszczególnych grup uszkodzeń przy użyciu oprogramowania komputerowego „Weibull ++”.

W rozdziale 6 (39 stron) zostały zaprezentowane teoretyczne wyliczenia wskaźników niezawodności oraz wyniki predykcji liczby uszkodzeń z użyciem rozkładów opisanych w rozdziale piątym. Rozdział zawiera również porównanie wyników obliczeń teoretycznych z analizami opartymi na danych eksploatacyjnych.

Rozprawa doktorska pptk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO zakończona jest podsumowaniem przeprowadzonych badań wraz z oceną stopnia realizacji założonych celów badawczych oraz wnioskami wynikającymi z przeprowadzonych w pracy rozważań.

Ostatnimi elementami pracy są bibliografia licząca 73 pozycje krajowe i zagraniczne (w tym 1 autorską publikację Doktoranta) oraz 3 załączniki. **Dobór literatury uważam za poprawny i aktualny.**

## **5. Ocena merytoryczna rozprawy**

Uważam, że zasadniczym i najważniejszym dorobkiem ppłk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO jest opracowanie autorskiej metody optymalizacji procesu eksploatacji statków powietrznych w szkoleniu lotniczym. Metoda została opracowana na podstawie przeprowadzonych analiz danych eksploatacyjnych, w szczególności analiz czasów do uszkodzeń podzespołów śmigłowca SW-4 „Puszczyk” oraz doświadczenia Doktoranta nabytego podczas długoletniej praktyki obsługowej sprzętu lotniczego. Stanowi ona znaczący wkład w rozwój dyscypliny naukowej – inżynieria mechaniczna w dziedzinie nauk – nauki inżynierijno-techniczne.

Dokonując oceny układu rozprawy, należy podkreślić, że jej ogólna forma i zakres wynikają z realizacji celów rozprawy. Podjęte przez Doktoranta problemy badawcze zostały sformułowane poprawnie, tak pod względem obszaru merytorycznego, jak i głębi prowadzonych rozważań. Z punktu widzenia postawionej tezy rozprawy doktorskiej przyjęta koncepcja badań jest właściwie uzasadniona, a zastosowane narzędzia i metody badawcze są do niej adekwatne.

Uważam, że zarówno konstrukcja dysertacji ppłk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO jak i sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań pozwalają stwierdzić, że cele rozprawy zostały osiągnięte, a przyjęta teza została potwierdzona.

Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy jak i literaturowy został przez Autora rozprawy wykorzystany poprawnie. Doktorant wykazała się głęboką wiedzą teoretyczną i bogatym doświadczeniem w obszarze eksploatacji statków powietrznych, bardzo dobrą znajomością przedmiotu badań, umiejętnością analitycznego ujęcia rozpatrywanego problemu oraz jego rozwiązania. Omówiona konstrukcja rozprawy oraz sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań są właściwe dla tego rodzaju prac.



Ppłk mgr inż. Grzegorz KOZŁOWSKI realizując prace nad rozprawą doktorską uzyskał liczne efekty naukowe i praktyczne. **Do najważniejszych efektów naukowych zaliczam:**

- opracowanie algorytmu planowania logistycznego do zabezpieczenia czynności obsługowych, który za kryterium do podjęcia decyzji planistycznych przyjmuje wskaźnik MTBF/MTTF;
- opracowanie formuły planowania (wzoru planowania logistycznego) części wielorazowego i jednorazowego użytku, która powinna uwzględniać nieplanowane uszkodzenia statku powietrznego.

**Do najważniejszych efektów o charakterze użytecznym zaliczam:**

- skrócenie czasu przestoju statku powietrznego z powodu braku dostępności części zamiennej;
- zwiększenie gotowości statku powietrznego do wykonania zadania lotniczego;
- opracowanie propozycji zmian w obowiązujących dokumentach doktrynalnych w zakresie techniki lotniczej;
- opracowanie propozycji nowych funkcjonalności w SI SAMANTA w zakresie zmiany ewidencjonowania danych o uszkodzeniach, wskaźnikach niezawodnościowych oraz planowania logistycznego;
- ograniczenie poziomu wydatkowania środków finansowych, niezbędnych do zakupu części wielorazowego i jednorazowego użytku;
- zmniejszenie kosztów wyszkolenia pojedynczego pilota poprzez właściwe zabezpieczenie gotowości statków powietrznych przeznaczonych do szkolenia podstawowego i zaawansowanego;
- zwiększenia potencjału szkoleniowego jednostek lotnictwa szkolnego działających na rzecz lotnictwa Sił Zbrojnych RP.

## 6. Uwagi szczegółowe

Zawartość merytoryczną rozprawy oceniam pozytywnie. Mimo pozytywnej oceny podczas czytania rozprawy nasunęły mi się pewne pytania oraz krytyczne spostrzeżenia. Odpowiedzi na pytania oczekuję podczas publicznej obrony.

- 1) W rozdziale 6 rozprawy doktorskiej na s. 117 Doktorant przedstawił proces szeregowania rodziny rozkładów z wykorzystaniem trzech kryteriów:

zmodyfikowanej statystyki Kołmogorowa-Smirnowa (MK-S), statystyki średniego odchylenia bezwzględnego dystrybuanty hipotetycznej od empirycznej oraz statystyki obliczanej na podstawie zlogarytmizowanej funkcji wiarygodności. Proszę przedstawić zasadę lub metodę, którą Doktorant wykorzystywał w procesie szeregowania rodziny rozkładów.

Proszę o wyjaśnienie, na czym polegała modyfikacja statystyki Kołmogorowa-Smirnowa (MK-S), którą Doktorant wykorzystywał w swojej pracy do obliczeń.

- 2) W mojej opinii w całej rozprawie występuje pewna niespójność semantyczna. Doktorant używa zamiennie pojęć „usterka”, „awaria”, „uszkodzenie”, „niesprawność”. Proszę o sprecyzowanie stosowanych pojęć. Czy występujące w pracy błędy semantyczne mogą mieć wpływ na uzyskane wyniki obliczeń niezawodnościowych?
- 3) Czym różni się „gotowość statku powietrznego” od „dostępności statku powietrznego do wykonywania zadań”? (s.37).

Powyższe uwagi nie wpływają na moją pozytywną ocenę merytoryczną rozprawy, a jedynie utrudniają zrozumienie jej fragmentów.

## **VI. Wniosek końcowy oceny rozprawy**

Przedstawioną do recenzji pracę oceniam pozytywnie, ponieważ została ona wykonana na bardzo dobrym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów optymalizacji procesu eksploatacji wojskowych statków powietrznych w szkoleniu lotniczym. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o dużej dojrzałości naukowej i wiedzy merytorycznej Doktoranta.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktoranta, a rezultaty pracy mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w praktyce, czego dowodem jest zweryfikowanie ich na przykładzie danych eksploatacyjnych śmigłowca SW-4 „Puszczyk”. Zawarte w rozprawie badania i analizy są przeprowadzone na wysokim poziomie merytorycznym, a ich wyniki rozszerzają wiedzę z zakresu metod oceny niezawodności wojskowych statków powietrznych.

Uwagi krytyczne nie umniejszają wartości merytorycznej pracy. Na taką ocenę pracy ma wpływ fakt, iż cel pracy został osiągnięty i potwierdzony wynikami praktycznymi.

Reasumując stwierdzam, że rozprawa przedstawiona do recenzji spełnia warunki przewidziane w Ustawie z dnia 14 marca 2003 o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, Dz. U. Nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami.

**Stawiam wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej pptk. mgr. inż. Grzegorza KOZŁOWSKIEGO na stopień doktora w dziedzinie – nauki inżynieryjno-techniczne, w dyscyplinie - inżynieria mechaniczna oraz dopuszczenie go do publicznej obrony.**

*Mariusz Zięba*

