

dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL
Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
tel.: 512-105-249
e-mail: mariusz.zieja@itwl.pl

Warszawa, 24.06.2021

Recenzja
rozprawy doktorskiej kpt. mgr inż. Anny MICHALSKIEJ
„Badanie niezawodności wybranych elementów
bezzałogowych statków powietrznych”

Recenzję wykonano na podstawie „Umowy o dzieło na sporządzenie recenzji” (Nr 204/2021) zawartej w dniu 19 maja 2021 r. (Pismo Koordynatora Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna płk. dr. hab. inż. Andrzeja Komorka z dn. 19.06.2021 r.).

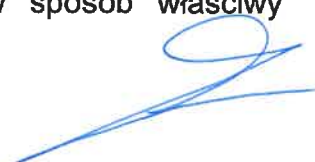
I. Uwagi wstępne

Przedstawiona do recenzji praca obejmuje:

- 128 stron oprawionych w książkę formatu A4;
- 2 załączniki;
- 29 ponumerowanych rysunków;
- 24 ponumerowane tabele;
- bibliografię liczącą 79 pozycji krajowych i zagranicznych (w tym 1 współautorską pozycję Doktorantki) oraz 13 adresów stron internetowych.

Zasadnicza treść rozprawy zawarta jest w rozdziałach 1÷5. Wstęp rozprawy stanowi wprowadzenie do identyfikacji jej obszaru badawczego oraz streszczenie zawartości poszczególnych rozdziałów. Zasadnicza część rozprawy została opatrzona zakończeniem będącym podsumowaniem podjętego wysiłku badawczego Doktorantki 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. Terminologia i pojęcia stosowane w pracy są zasadniczo poprawnie zdefiniowane. Materiały ilustracyjne oraz tabele zamieszczone w pracy w sposób właściwy



przedstawiają rozważania Doktorantki dotyczące badania niezawodności wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych.

II. Ocena doboru tematu rozprawy

Według wielu specjalistów niewątpliwie myślą przewodnią przyszłych operacji wojskowych będzie coraz szersze wykorzystanie w działaniach bojowych powietrznych, morskich i lądowych robotów oraz zdalnie sterowanych maszyn. Nawiązując do powyższego stwierdzenia, należy zauważyć, iż jednym z takich środków są bez wątpienia systemy bezzałogowych statków powietrznych. Wspomniane wyżej systemy będą w głównej mierze odpowiedzialne za prowadzenie ciągłej obserwacji oraz rozpoznanie w obszarze działań wojennych. Drony rozpoznawcze i bojowe są dziś używane w ponad 50 krajach świata, a każde państwo pragnące uzyskiwać nowe możliwości działania dla swoich sił zbrojnych prowadzi pracę nad rozwojem własnych projektów. Posiadanie nowoczesnego sprzętu, jakim są bez wątpienia bezzałogowe statki powietrzne, bez analizy i poprawy ich parametrów niezawodnościowych obniża możliwości obronne państwa.

Całkowicie zgadzam się z opinią Doktorantki, „że istnieje uzasadniona konieczność podjęcia badań obejmujących w swym zakresie wyznaczenie najbardziej zawodnych elementów BSP oraz określenie sposobów obsługiowania, użytkowania oraz - jeżeli to możliwe – zmian konstrukcyjnych tychże elementów”. Uważam, że w świetle analizy dokumentów normatywnych oraz światowej literatury zagadnienia Doktorantka podjęła się niezwykle ważnego i jednocześnie trudnego zadania polegającego na zbadaniu niezawodności wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych w celu określenia nowych sposobów ich obsługiowania i użytkowania oraz zaproponowania możliwych zmian konstrukcyjnych. **Reasumując, uważam, że podjęcie przez kpt. mgr inż. Annę MICHAŁSKĄ problematyki badania niezawodności wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych należy uznać za uzasadnione, a sformułowanie tematu rozprawy za właściwe.**

III. Analiza zakresu, celu i treści rozprawy

W przedstawionej do recenzji rozprawie Autorka podjęła się rozwiązanie złożonego zagadnienia dotyczącego badania i kształtowania niezawodności wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych eksploatowanych w Siłach Zbrojnych RP. Z przeprowadzonego przez kpt. mgr inż. Annę MICHAŁSKĄ

przeglądu literatury wynika, że pozycji literaturowych dotyczących niezawodności urządzeń technicznych jest bardzo dużo. Jednak brakuje takich, które w syntetyczny sposób prezentowałyby aspekt niezawodności i optymalizacji procesów eksploatacji poszczególnych typów bezzałogowych statków powietrznych. Na podstawie krytycznej analizy literatury przedmiotu Doktorantka prawidłowo stwierdziła, że współczesne sposoby eksploatacji bezzałogowych statków nie zostały unormowane i zdefiniowane w sposób wystarczający, aby optymalnie zabezpieczyć politykę prewencyjną ich użycia. Prawidłowo przeprowadzone przez Doktorantkę wstępne badania literaturowe wykazały, że dotychczasowe działania w zakresie kształtowania niezawodności bezzałogowych statków powietrznych skupiały się wyłącznie na modernizacji ich konstrukcji i nie uwzględniały możliwości optymalizacji procesów użytkowania i obsługi. **Wnioski przedstawione przez Doktorantkę wynikające z krytycznego przeglądu literatury przedmiotu uważam za właściwe.**

Na podstawie analizy dokumentów normatywnych oraz światowej literatury zagadnienia Doktorantka prawidłowo zdefiniowała przedmiot badań jako niezawodność wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych oraz precyzyjnie określiła cel badań – wyznaczenie struktury niezawodnościowej oraz wybór miary niezawodności do oszacowania charakterystyk niezawodnościowych wybranych elementów BSP, ustalenie elementów ulegających najczęściej uszkodzeniu, określenie postaci uszkodzeń i ich przyczyn. Ostatecznym celem badań Doktorantki było opracowanie na podstawie charakterystyk niezawodnościowych propozycji zmian (np. konstrukcyjnych, eksploatacyjnych), które zmniejszają uszkodzalność wybranych elementów BSP.

Prawidłowo zdefiniowane przedmiot i cel badań pozwoliły Doktorantce na postawienie następującej hipotezy:

„Założono, że struktura niezawodnościowa bezzałogowego statku powietrznego jest szeregową. W celu opracowania charakterystyk niezawodnościowych wybranych elementów BSP najodpowiedniejszą miarą będzie miara bezawaryjności. Przypuszczono przy tym, że najczęściej uszkodzanymi elementami BSP są elementy narażone na oddziaływanie warunków atmosferycznych. Zmniejszenie uszkodzalności tych elementów można dokonać poprzez zmianę sposobu użytkowania, obsługi oraz zmianę konstrukcji”.

Zarówno postawioną hipotezę badawczą jak i zdefiniowane cele badawcze uważam za właściwe.



Zawartość poszczególnych rozdziałów pracy jest powiązana z tytułem rozprawy i stanowi jego rozwinięcie oraz odpowiada sformułowanym problemom badawczym.

Wstęp (3 strony) zawiera zasygnalizowanie problematyki badawczej podjętej w dysertacji, a także przesłanek, które sprawiły zajęcie się tematyką niezawodności bezzałogowych statków powietrznych. Ponadto, Doktorantka przedstawiła syntetyczne streszczenie zawartości poszczególnych rozdziałów. **Obszar badawczy nakreślony przez Doktorantkę uważam za trafny i aktualny.**

Rozdział pierwszy (24 strony) zawiera charakterystykę bezzałogowych statków powietrznych w aspekcie terminologii, rozwoju, klasyfikacji oraz charakterystyk taktyczno-technicznych i eksploatacyjnych. Kpt. mgr inż. Anna Michalska trafnie zauważyła, że uzyskanie możliwości technicznych do realizacji zadań przez BSP realizowane jest przede wszystkim poprzez drobiazgowy dobór coraz to nowych materiałów konstrukcyjnych, jak również rozwiązań technologicznych. Na podstawie analizy literatury Doktorantka wysnuła właściwe wnioski dotyczące racjonalności wykorzystania materiałów kompozytowych w konstrukcjach BSP. Ich różnorodność, dostępność oraz parametry wytrzymałościowe są czynnikami decydującymi o ich wykorzystaniu do konstruowania BSP. Badania przedstawione w niniejszym rozdziale miały na celu precyzyjną identyfikację obiektu badań, aby implementacja ich wyników dotyczyła jak najszerszej grupy BSP wykorzystywanych w Siłach Zbrojnych RP. Na podstawie analizy dokumentacji technicznej bezzałogowych statków powietrznych Doktorantka trafnie zauważyła, że Siły Zbrojne RP eksploatują 5 typów BSP należących do rodziny stałopłatów, przy czym w największej liczbie (15 zestawów) eksploatowane są Fly Eye i Orbiter. Przeprowadzona przez Doktorantkę analiza parametrów taktyczno-technicznych nie wykazała znaczących różnic między tymi dwoma statkami powietrznymi. **Zatem, wybór Orbitera 2B jako obiektu badań niezawodnościowych podyktowany dostępem do danych eksploatacyjnych w 12. Bazie BSP w Mirosławcu uważam za uzasadniony.**

Rozdział drugi (6 stron) zawiera zagadnienia dotyczące metodyki prowadzenia badań. Przedstawiono w sposób syntetyczny uzasadnienie wyboru tematu rozprawy doktorskiej oraz istotę problemów badawczych. W rozdziale zdefiniowano cel pracy i przyjęto hipotezę badawczą. Z metodologicznego punktu widzenia w rozdziale drugim Doktorantka prawidłowo zdefiniowała metody i techniki badawcze wykorzystywane do rozwiązywania problemów badawczych. Przedstawiła

metodykę prowadzonych badań oraz przyjęte w niej ograniczenia. **Stwierdzam, że przyjęta koncepcja badań jest w pełni uzasadniona, a zastosowane metody i techniki badawcze są do niej adekwatne.**

Rozdział trzeci (16 stron) stanowi rozważania czysto teoretyczne ponieważ, zawiera podstawowe pojęcia i definicje z obszaru niezawodności, które są powszechnie znane w literaturze przedmiotu. W rozdziale trzecim Doktorantka scharakteryzowała również czynniki zewnętrzne i wewnętrzne mające wpływ na funkcjonowanie BSP oraz dokonała dyskusyjnego założenia teoretycznego, że struktura niezawodnościowa BSP jest strukturą szeregową.

W **rozdziale czwartym (30 stron)** Doktorantka dokonała identyfikacji uszkodzeń, bazując na badaniach empirycznych metodą wywiadu przeprowadzonego w 12. Bazie BSP, które potwierdzono w oparciu o dane z systemu informatycznego wspierającego zarządzanie eksploatacją wojskowych statków powietrznych – SAMANTA. Na podstawie przeprowadzonych badań, stwierdzono, że najbardziej zawodnymi elementami bezzałogowego statku powietrznego są winglety oraz wskaźnik prędkości powietrza – IAS. Ustalono, że najczęstszymi przyczynami uszkodzeń są warunki atmosferyczne, wadliwość elementów konstrukcyjnych oraz brak dostosowania procedury lądowania do warunków terenowych i atmosferycznych. Następnie przedstawiono badania niezawodnościowe wybranych elementów Orbitera 2B obejmujące:

- szacowanie funkcji niezawodności dla elementów winglet,
- oszacowanie funkcji wiodącej rozkładu dla elementów winglet,
- oszacowanie chwilowej średniej funkcji intensywności uszkodzeń dla elementów winglet,
- szacowanie funkcji niezawodności dla IAS,
- oszacowanie funkcji wiodącej rozkładu dla IAS,
- oszacowanie chwilowej średniej funkcji intensywności uszkodzeń dla IAS.

W swoich badaniach Doktorantka wykorzystwała metodę nieparametrycznej regresji wielomianowej. Oszacowanie wszystkich wartości przedziałów ufności funkcji niezawodności, funkcji wiodącej rozkładu i funkcji intensywności uszkodzeń zostało zrealizowane przy wykorzystaniu rozkładu kwantyli χ^2 . Przeprowadzone przez kpt. mgr inż. Annę MICHAŁSKĄ badania potwierdziły konieczność kształtowania niezawodności wingletów oraz wskaźników prędkości powietrza – IAS. **Biorąc pod uwagę spectrum badań niezawodnościowych zaprezentowanych przez**



Doktorantkę rozdział czwarty uważam za najbardziej wartościowy w całej rozprawie.

W rozdziale 5 (9 stron) Autorka przedstawiła własne propozycje dotyczące kształtowania niezawodności wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych poprzez zmianę procedury użytkowania i obsługi wraz z koncepcją konstrukcyjnej modernizacji wybranych elementów BSP zidentyfikowanych w poprzednich etapach badawczych - wingletów oraz wskaźników prędkości powietrza – IAS. Propozycje sposobów kształtowania niezawodności wybranych elementów BSP przedstawione w rozdziale 5 stanowią indywidulany wkład Doktorantki. Jednak ich praktyczną przydatność należy sprawdzić podczas realizacji następnych prac badawczych.

Zakończenie zawiera streszczenie wyników badań wraz z oceną stopnia realizacji założonego celu badawczego oraz wnioski wynikające z przeprowadzonych w pracy rozważań.

Ostatnimi elementami pracy są: spis tabel, spis rysunków, bibliografia (licząca 79 pozycji krajowych i zagranicznych oraz 13 adresów stron internetowych) oraz 2 załączniki.

W aspekcie nowatorstwa pracy za szczególnie cenne uważam następujące jej elementy:

- oszacowanie funkcji niezawodności dla wybranych elementów Obitera 2B (wingletów oraz wskaźników prędkości powietrza – IAS),
- oszacowanie funkcji wiodącej rozkładu dla wybranych elementów Obitera 2B (wingletów oraz wskaźników prędkości powietrza – IAS),
- oszacowanie chwilowej średniej funkcji intensywności uszkodzeń dla wybranych elementów Obitera 2B (wingletów oraz wskaźników prędkości powietrza – IAS),
- propozycje zmian procedury użytkowania i obsługi wraz z koncepcją konstrukcyjnej modernizacji wybranych elementów Obitera 2B (wingletów oraz wskaźników prędkości powietrza – IAS).

IV. Ocena rozprawy

Uważam, że zasadniczym i najważniejszym dorobkiem kpt. mgr inż. Anny MICHALSKIEJ jest opracowanie autorskiej metody badania niezawodności



wybranych elementów bezzałogowych statków powietrznych. Stanowi on wkład w rozwój dyscypliny inżynieria mechaniczna

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

Uważam, że zarówno konstrukcja dysertacji kpt. mgr inż. Anny MICHALSKIEJ jak i sposób opracowania materiału empirycznego, a także forma przeprowadzonej analizy i przyjęta metodyka badań pozwalają stwierdzić, że cel rozprawy został osiągnięty, a przyjęta hipoteza badawcza została potwierdzona.

Stwierdzam, że zarówno materiał badawczy jak i literaturowy został przez Autorkę rozprawy wykorzystany poprawnie. Doktorantka wykazała się ogólną wiedzą teoretyczną w obszarze budowy i eksploatacji bezzałogowych statków powietrznych, wystarczającą 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.

V. 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 rozprawie stosowane są dwa pojęcia „awaria” i „uszkodzenie”. Pojęcie „awarii” zostało zdefiniowane na stronie 11. Pojęcie „uszkodzenia” zostało zdefiniowane na stronie 12. W hipotezie badawczej w rozdziale 2 występuje odniesienie do „miar bezawaryjności”. Badanie niezawodności w rozdziale 4 zostało przeprowadzone na podstawie danych o uszkodzeniach (strona 77 i 86). Na podstawie definicji przedstawionych w pracy brak jest określonego związku semantycznego pomiędzy tymi pojęciami. Czy brak tego związku ma wpływ na analizę przeprowadzonych badań niezawodnościowych? Czy pojęcia „uszkodzenie” i „awaria” są pojęciami tożsamymi? Z czego wynika brak konsekwencji w stosowaniu tych pojęć w pracy?



- 2) W rozdziale 3 na stronie 49 znajduje się stwierdzenie „Podczas realizacji misji zgodnie z przeznaczeniem poszczególne wartości elementów bezzałogowego statku powietrznego zmieniają się. Jego dynamika spowodowana jest zależnością i kryterium ważności danych elementów w czasie wykonywania zadania”. Proszę o wyjaśnienie logicznego sensu powyższego zapisu. Jakie wartości i jaką dynamikę Doktorantka ma na myśli?
- 3) Czym było podyktowane kontrowersyjne założenie w rozdziale 3 na stronie 49, że BSP posiada szeregową strukturę niezawodnościową?
- 4) W rozdziale 3 przedstawiono instrumentarium pojęciowe z zakresu niezawodności. Zaprezentowano koncepcję niezawodności na podstawie dość starych pozycji literaturowych ([27] z 1973r., [56] z 1983r., [32] z 1973r.). Proszę o wyjaśnienie, czy przedstawiona w pracy koncepcja niezawodności koresponduje z koncepcją niezawodności zdefiniowaną w dokumentach normalizacyjnych EU oraz NATO (np. ADMP-02 GUIDANCE FOR DEPENDABILITY IN-SERVICE, IEC 60300-1 Dependability Management Part 1: Dependability management systems; IEC 60300-2 Dependability Management Part 2: Guidelines for dependability management, IEC 60300-3-1 Dependability Management Part 3-1: Application Guide - Analysis Techniques for dependability - Guide on methodology; IEC 60300-3-2 Dependability Management Part 3-2: Application Guide - Collection of Dependability data from the field)?

W recenzowanej dysertacji Doktorantka nie ustrzegła się błędów redakcyjnych i lapsusów językowych (np. „Tabela 11. Ilość uszkodzeń” na stronie 77, „Tabela 17. Ilość uszkodzeń” na stronie 86). 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, została ona wykonana na zadawalającym poziomie merytorycznym. Zawarte w niej treści dotyczą złożonych problemów badania niezawodności bezzałogowych statków powietrznych. Treści merytoryczne zawarte w pracy świadczą o wystarczającej dojrzałości naukowej i wiedzy merytorycznej Doktorantki.

Zaprezentowane w rozprawie wyniki badań są oryginalnym dorobkiem naukowym Doktorantki, a rezultaty pracy mogą zostać bezpośrednio wykorzystane w praktyce, czego dowodem jest zweryfikowanie ich na przykładzie rzeczywistym.



Zawarte w rozprawie badania i analizy są przeprowadzone na satysfakcjonującym poziomie merytorycznym, a ich wyniki rozszerzają wiedzę z zakresu metodyk oceny niezawodności.

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 więc wniosek o przyjęcie opracowania przedstawionego do recenzji – jako rozprawy doktorskiej kpt. mgr. Inż. Anny MICHALSKIEJ na stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie inżynieria mechaniczna i dopuszczenie jej do publicznej obrony.

KIEROWNIK ZAKŁADU
INFORMATYCZNEGO WSPARCIA LOGISTYKI
Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych

płk dr hab. inż. Mariusz ZIEJA, prof. ITWL

