



Politechnika  
Śląska



UCZELNIA  
BADAWCZA  
INICJATYWA DECYZYJNOŚĆ

Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

Dr hab. inż.  
**Andrzej Katunin**  
Profesor uczelni

Gliwice, dn. 17.08.2021

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgra inż. **Piotra Synaszko**

pt. „Zastosowanie metody laser shearography do badań jakości napraw metalowych konstrukcji przekładkowych statków powietrznych”

### 1. Ogólna charakterystyka pracy

Naprawy elementów statków powietrznych są nieodzowną czynnością w ich eksploatacji zgodnie z szeroko wykorzystywaną filozofią tolerowanego uszkodzenia oraz związanymi z nią obowiązującymi przepisami. Jednym z najistotniejszych etapów napraw są badania nieniszczące, mające na celu weryfikację poprawności wykonania tych napraw, co jest przedmiotem opiniowanej rozprawy. Autor skupia się na rozwiązaniu problemu inspekcji elementów metalowych statków powietrznych po wykonaniu napraw klejonych, co jak podkreśla Autor, wciąż jest problemem niedostatecznie zbadanym. Podjęta przez Autora tematyka badań jest aktualna i dobrze wpisuje się w obecne trendy prac w zakresie badań nieniszczących, w tym badań elementów statków powietrznych po wykonaniu napraw. Wybrana metoda badań nieniszczących, którą zastosował Autor w swoich badaniach, jest metodą cechującą się szczególną wrażliwością na defekty i uszkodzenia powierzchniowe i podpowierzchniowe oraz, jak słusznie zauważa Autor, stanowi jedną z siedmiu metod badań nieniszczących, dopuszczonych do inspekcji w lotnictwie zgodnie z obowiązującymi normami i przepisami, tak krajowymi, jak i międzynarodowymi. Podkreśla to dodatkowo znaczenie utylitarne wyników opiniowanej rozprawy. W rozprawie Autor skutecznie wykazuje synergię zagadnień teoretycznych z zakresu mechaniki ośrodków ciągłych, w szczególności z zakresu teorii płyt, z wiedzą i umiejętnościami praktycznymi, dotyczącymi wykorzystania metody szerografii do inspekcji napraw elementów statków powietrznych. Biorąc powyższe pod uwagę, uważam, że temat rozprawy jest uzasadniony. Prezentuje on nowatorstwo od strony naukowej oraz wpisuje się w potrzeby eksploatacji statków powietrznych, w tym określenia ich zdolności do lotu.

Politechnika Śląska  
Wydział Mechaniczny Technologiczny  
Katedra Podstaw Konstrukcji Maszyn

ul. Konarskiego 18a, pok. 407, 44-100 Gliwice  
+48 32 237 10 69  
andrzej.katunin@polsl.pl

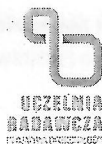
NIP 631 020 07 36

ING Bank Śląski S.A. o/Gliwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056



HR EXCELLENCE IN RESEARCH





Rozprawa zawiera 114 stron maszynopisu oraz składa się z dołączonych streszczeń w języku polskim i angielskim, spisów treści i ilustracji, wykazu definicji i skrótów, pięciu rozdziałów, spisu bibliografii oraz trzech załączników z numeracją własną.

W rozdziale 1. Autor przedstawia ogólny zarys badanego problemu, uzasadniając wybór metody szerografii jako metody badań nieniszczących, stosowanej do inspekcji elementów statków powietrznych po naprawie oraz definiuje korzyści i zakres stosowalności opracowanej metodyki wykonywania inspekcji ponaprawczych metalowych elementów przekładkowych statków powietrznych.

Rozdział 2. poświęcony jest szerokiemu wachlarzowi zagadnień podstawowych, wprowadzających do rozprawy. Autor scharakteryzował badane struktury przekładkowe wraz z ich najważniejszymi właściwościami mechanicznymi, uszkodzenia typowe dla tych struktur, a także rodzaje napraw i metody oceny ich jakości oraz metody badań nieniszczących, stosowane do wykrywania uszkodzeń w omawianych strukturach.

W rozdziale 3. Autor przedstawił tezę rozprawy, a także zdefiniował jej cel i poszczególne zadania badawcze.

Rozdział 4. stanowi główny wkład twórczy rozprawy i przedstawia etapy opracowania metodyki oceny jakości napraw metalowych struktur przekładkowych elementów statków powietrznych. Na podstawie przeprowadzonych badań wstępnych Autor zdefiniował modele rozpatrywanych uszkodzeń oraz zaprojektował próbki, na których następnie wykonał badania metodą szerografii z dwoma rodzajami wymuszenia. W wyniku przeprowadzonych badań Autor opracował metodykę oceny jakości, którą następnie zweryfikował na obiekcie rzeczywistym.

W rozdziale 5. Autor podsumował rozprawę, a także nakreślił najważniejsze wnioski, wynikające ze zrealizowanych prac koncepcyjnych i badawczych. W tym rozdziale Autor podkreślił użyteczny charakter rozprawy, a także zdefiniował kierunki dalszego rozwoju prac w podjętej tematyce.

Bibliografia zawiera 133 pozycji, w tym 6 pozycji są współautorstwa Autora rozprawy. Praca zawiera trzy załączniki, obejmujące dokumentację techniczną zaprojektowanych próbek do badań, szczegółowe wyniki badań Autora z wykorzystaniem metody szerografii oraz dokument pt. „Metodyka badań nr MB-XX/31/2021”.

## **2. Cel rozprawy i teza naukowa**

Zdefiniowany w rozdziale 3. cel pracy dotyczy opracowania metodyki inspekcji ponaprawczej metalowych struktur przekładkowych elementów statków powietrznych na podstawie metody szerografii. Tak zdefiniowany cel pracy jest uzasadniony i poparty zarówno oryginalnością naukową podjętych badań, jak i aspektem użytecznym, który został przedstawiony i udowodniony przez Autora.



Na podstawie dyskusji i przeprowadzonej przez Autora analizy przesłanek, przemawiających za celowością wprowadzenia metody szerografii do badań struktur przekładkowych stosowanych w elementach statków powietrznych po wykonaniu napraw, a w szczególności uproszczenia procesu inspekcji i istotnego skrócenia czasu ich przeprowadzenia, Autor rozprawy sformułował tezę naukową. Teza wskazuje na istnienie możliwości opracowania sposobu oceny jakości ww. napraw zgodnie z przedstawionym pomysłem Autora. Należy stwierdzić, że teza rozprawy została sformułowana w sposób poprawny. Na podstawie analizy całości rozprawy stwierdzam, że sformułowana teza rozprawy została spełniona poprzez przeprowadzenie systematycznych badań eksperymentalnych przedmiotowych napraw, a także opracowania metodyki na ich podstawie, co znalazło swoje odzwierciedlenie również w przygotowaniu w ramach realizacji prac dokumentu pt. „Metodyka badań nr MB-XX/31/2021”, który stanowi załącznik nr 3 opiniowanej rozprawy. Dowiedzenie tezy potwierdza i uzasadnia również Autor rozprawy w rozdziale 5.

### **3. Ocena merytoryczna pracy**

W ramach przeprowadzonych prac przez Autora rozprawy została zaproponowana oryginalna metodyka oceny jakości napraw struktur przekładkowych elementów statków powietrznych z wykorzystaniem metody szerografii jako podstawowej metody badań nieniszczących.

Autor pracy wykazał się rzetelnością w przedstawieniu metod badań nieniszczących stosowanych do inspekcji ponaprawczych struktur przekładkowych elementów statków powietrznych, a w szczególności metody szerografii. W przypadku tej metody Autor jednoznacznie uzasadnił celowość jej zastosowania do wspomnianych inspekcji, opierając się zarówno na wywodach własnych badań teoretycznych, jak i na wynikach przeprowadzonych badań eksperymentalnych. W uzasadnieniu Autor odnosi się do źródeł literaturowych, w tym raportów, norm i publikacji naukowych, jednak zabrakło w rozprawie systematycznych badań literaturowych w zakresie stosowania metody szerografii do inspekcji struktur i elementów konstrukcyjnych, a w szczególności do inspekcji struktur po wykonaniu napraw. Należy podkreślić, że rozprawa posiada cechy oryginalności, jednak przedstawienie wspomnianych badań literaturowych pozwoliłoby na ich dodatkowe uwypuklenie. Tym nie mniej, piśmiennictwo, cytowane w pracy zostało dobrane w sposób rzetelny i poprawny, uwzględniający wiele istotnych prac w tematyce rozprawy.

Sposób wyboru metody badawczej oraz sposób definiowania uszkodzeń, doboru i projektowania próbek do badań zasługuje na osobny komentarz. Prezentuje on logiczny sposób rozumowania Autora, poparty zarówno wiedzą teoretyczną dot. przedmiotu badań, jak i bogatego doświadczenia w wykorzystaniu metody szerografii i innych metod badań nieniszczących. Wymienione procedury należy zaliczyć do osiągnięć twórczych Autora rozprawy.

Na uwagę zasługuje zaproponowane dwutorowe podejście do wzbudzenia badanych struktur: podciśnieniowego oraz cieplnego. Pierwsza z nich została właściwie scharakteryzowana



w podrozdziale 2.6, natomiast zjawiska fizyczne wiążące się z zastosowaniem cieplnej metody wzbudzenia nie zostały wyjaśnione w rozprawie w sposób bezpośredni.

Jak dowodzi Autor, podejście oparte na wykorzystaniu obu metod wzbudzenia pozwala na wykrywanie uszkodzeń różnego rodzaju, co pozwala stwierdzić, że metody wzbudzenia są wzajemnie uzupełniające się w zaproponowanej metodyce. Poza przedstawioną argumentacją, przemawiającą za zastąpieniem obecnie stosowanej metodyki badań, która zakłada przeprowadzenie inspekcji ponaprawczych dwoma metodami badań nieniszczących, metodą szerografii, co z kolei istotnie wpływa na przyspieszenie wykonywanych inspekcji, zaproponowane podejście do wzbudzenia badanych elementów pozwala na osiągnięcie uniwersalności opracowanej metodyki.

Rozdział 5. rozprawy zawiera ważne i poprawnie sformułowane wnioski oraz kierunki dalszych badań, podkreślające użyteczny charakter pracy. Jednak pierwsza część rozdziału (strony 101-102) zawiera podsumowanie pracy, które zwyczajowo umieszczane jest we wstępie, gdzie posiadałoby wartość poznawczą dla czytelnika. Zarówno w rozdziale 4., jak i podsumowaniu, przedstawionym w rozdziale 5. zabrakło analizy wyników jakościowych, które Autor zamieścił w załączniku nr 2. Informacja o wykrywalności uszkodzeń dla różnych materiałów i różnych metod wymuszenia stanowiłaby cenny materiał do dyskusji.

Tekst rozprawy zawiera drobne uchybienia. W niektórych przypadkach zastosowana terminologia i oznaczenia nie zostały wyjaśnione, jest tak w przypadku terminu „próbka-świadek”, który występuje na stronie 31 rozprawy lub w przypadku wartości „1/e” na stronie 49 rozprawy, gdzie brakuje wyjaśnienia czym jest wielkość „e”. Ponadto, rozprawa zawiera błędy gramatyczne i interpunkcyjne oraz niejednolicie sformatowany spis bibliografii. Powyższe uchybienia nie umniejszają jednak wartości osiągniętych wyników w ramach prowadzonych prac.

#### **4. Uwagi krytyczne i dyskusyjne**

Lektura rozprawy doktorskiej nasuwa pewne komentarze, uwagi krytyczne i dyskusyjne.

- 1) W pracy Autor stosuje nazwę metody badań nieniszczących „Laser Shearography” w sposób zamienny z jej spolszczonym odpowiednikiem „szerografia”. W tytule rozprawy, tezie i sformułowanym celu występują trzy różne formy. O ile obie nazwy są poprawne i z powodzeniem funkcjonują w środowiskach naukowym i inżynierskim, w pracy brakuje ujednolicenia i konsekwentnego stosowania jednej z tych form.
- 2) Jak słusznie zauważył Autor w części przeglądowej rozprawy, odległość przesunięcia pomiędzy nakładanymi wzorcami plamkowymi ma istotny wpływ na prawdopodobieństwo detekcji uszkodzenia. Brakuje jednak analizy wpływu tego parametru na wyniki badań, które zostały przedstawione w rozdziale 4. oraz załączniku nr 2. Nasuwa się zatem pytanie: czy ten parametr należy potraktować jako stały w opracowanej metodyce, czy też należy go uwzględnić w



zależności funkcyjnej w stosunku do miar wykrycia uszkodzenia. Niniejsze pytanie wymaga uzasadnienia.

- 3) W rozdziale 4. przy analizie wyników badań eksperymentalnych Autor wskazuje na inny mechanizm odkształceń w przypadku cieplnej metody wzbudzenia, co skutkowało brakiem wykrycia symulowanych uszkodzeń, gdy została zastosowana podciśnieniowa metoda wzbudzenia. Z punktu widzenia wykorzystania opracowanej metodyki, istotne byłoby wskazanie różnic w mechanizmach wzbudzenia z wykorzystaniem wspomnianych metod.

Praca zawiera drobne uchybienia redakcyjne, które zestawiono poniżej.

- 1) W spisie treści nie zostały wymienione załączniki, które stanowią integralną i bardzo ważną część pracy.
- 2) W rozdziale 2. nie zachowano hierarchii numerowania podrozdziałów: opis metod badań nieniszczących, zawarty w podrozdziale 2.5 należałoby odpowiednio ponumerować jako podrozdziały o niższym stopniu.

## 5. Ocena końcowa

Tematyka podjętych przez Autora rozprawy badań dobrze wpisuje się w aktualne trendy badań naukowych prowadzonych w kraju i na świecie, a uzyskane wyniki cechują się oryginalnością i użytecznością, co może mieć przełożenie na ich bezpośrednie wykorzystanie w inspekcji statków powietrznych Sił Zbrojnych RP. Autor rozprawy rozwiązał postawione zagadnienie naukowe, czego dowodem jest opracowana metodyka oraz wykazał się szeroką wiedzą z zakresu mechaniki i badań nieniszczących. Ponadto, przeprowadzone prace w zakresie badań nieniszczących metodą szerografii i innych wskazują na zdolność Autora do samodzielnego prowadzenia prac naukowo-badawczych. Rozprawa stanowi pracę ukończoną i kompletną w sensie prowadzonych rozważań teoretycznych oraz badań eksperymentalnych.

Stwierdzam, że przedłożona mi do oceny rozprawa doktorska mgra inż. Piotra Synaszko spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim przez aktualnie obowiązującą ustawę o tytule naukowym i stopniach naukowych oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki, i wnioskuję o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Andrzej Katunin, prof. PŚ

