

Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych

ul. Ks. Bolesława 6

01-494 Warszawa

RECENZJA

rozprawy doktorskiej płk mgr inż. Jarosława Gąsiora n.t. „Analiza możliwości poprawy właściwości wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych stosowanych w lotnictwie”

Podstawa:

Recenzja została opracowana na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej „Inżynieria Mechaniczna „ Wojskowej Akademii Technicznej - prof. dr hab. inż. Jerzego Małachowskiego - pismo z dnia 30 maja 2022 r.

1. Ogólna i formalna charakterystyka pracy

W przygotowanej pracy doktorant zaprezentował problematykę oceny własności wytrzymałościowych połączeń mechanicznych, klejowych i hybrydowych w funkcji parametrów procesu wytwarzania takich połączeń oraz własności materiałowych zastosowanych materiałów adhezyjnych. Jest to problem istotny z uwagi na zastosowania konstrukcyjne i naprawcze stosowane w konstrukcjach lotniczych ale również w przemyśle motoryzacyjnym. Główną przyczyną zastosowania połączeń mechanicznych jest możliwość wykorzystania poszczególnych zalet połączeń mechanicznych przy świadomości istnienia ograniczeń w celu zwiększania trwałości takich konstrukcji. Główną motywacją do przeprowadzenia badań przedstawionych w pracy było określenie wpływu modyfikacji połączeń klejowo – mechanicznych z uwagi na możliwość poprawy ich właściwości eksploatacyjno – wytrzymałościowych. Przedstawiony problem badawczy wpisuje się w rozwijaną od szeregu lat problematykę wykorzystania technologii klejenia w celu zastąpienia łączników mechanicznych z uwagi na możliwości optymalizacji masy, kontroli nad procesami korozyjnymi oraz kształtowania geometrii złącza przy utrzymaniu lub zwiększeniu trwałości zmęczeniowej. Pomimo coraz szerszego zastosowania procesów klejenia w budowie konstrukcyjnej statków powietrznych, nadal istnieje szereg wyzwań technologicznych związanych z koniecznością udoskonalania technologii wykonywania takich połączeń. W szczególności wyzwania te są związane z procesami polimeryzacji i adhezji, przygotowania powierzchni, wpływu warunków zewnętrznych na jakość wykonania połączenia klejowego. Problematyka optymalizacji połączeń klejowych jest również istotna z punktu widzenia problematyki zdolności do lotu a w szczególności nowych konstrukcji jak i struktur kompozytowych. Istotnym elementem procesu optymalizacji własności takich połączeń jest zastosowanie odpowiedniej metodologii badawczej która pozwoli na:

- określenie własności strukturalnych wytworzonego złącza (np. poprzez badania nieniszczące),
- określenie własności wytrzymałościowych złącza za pomocą badań eksperymentalnych dla obciążeń statycznych i cyklicznych;

- korelację uzyskanych wyników za pomocą skalibrowanych modeli numerycznych wykorzystujących metodę elementów skończonych (MES) i pozwalających na określanie wartości pól naprężeń w modelowanych połączeniach adhezyjnych.

W przedstawionej pracy doktorant zajął się tą problematyką za pomocą badań mechaniki eksperymentalnej oraz badań numerycznych. Przedstawione przez autora wyniki zawierają badania dla różnych rodzajów połączeń, łączników, połączeń adhezyjnych oraz rodzajów przygotowania powierzchni jak i geometrii połączenia. Spektrum przeprowadzonych przez autora badań zawiera wielokriterialne podejście do oceny wpływu parametrów złącza na własności wytrzymałościowe spoiny co stanowi znaczną użyteczną wartość wyników uzyskanych przez autora.

Autor dokonał stosownego przeglądu literatury oraz identyfikacji modeli analitycznych jak również przeglądu własności wytrzymałościowych różnych połączeń mechanicznych.

Doktorant podjął się realizacji badań i przygotowania pracy o ciekawej tematyce wpisującej się w potrzeby przemysłu wykorzystującego połączenia mechaniczne w tym w szczególności połączenia hybrydowe (łącznikowo – klejowe). Praca zawiera szereg badań empirycznych oraz badań numerycznych wraz z komparatywną oceną uzyskanych wyników.

Przedstawiona przez autora na 184 stronach maszynopisu praca, poza wykazem ważniejszych skrótów i symboli, spisem rysunków i tabel oraz wstępem, streszczeniem w języku polskim i języku angielskim zawiera:

- **Rozdział pierwszy** w którym autor przedstawia obszerną analizę literaturową zagadnień związanych z połączeniami materiałów stosowanych w konstrukcjach lotniczych. W pierwszej kolejności doktorant systematyzuje i grupuje rodzaje połączeń stosowanych w konstrukcjach, następnie omawia i przedstawia bezpośrednie połączenia klejowe. Dla tych rodzajów połączeń autor opisuje problematykę oceny wytrzymałości połączenia zarówno w zakresie sprężystym jak i sprężysto – plastycznym. Doktorant przedstawia również zestawienie modeli analitycznych stosowanych do oceny rozkładu naprężeń dla wybranej geometrii połączenia zakładkowego. Autor przedstawia problematykę dokładności obliczeniowej modeli oraz ich ograniczenia związane z przestrzennym rozkładem naprężeń, nieliniowością warstwy adhezyjnej oraz możliwościami obliczeniowymi. Rozdział systematyzuje również informacje dotyczące istniejących możliwości oraz ograniczeń dla zastosowania połączeń mechanicznych w konstrukcjach zakładkowych. Finalnie autor przedstawia technologię hybrydowego łączenia konstrukcji wraz z określaniem parametrów wpływających na wytrzymałość takiego połączenia. Autor zauważa również konieczność weryfikacji jakości wykonania takiego połączenia z uwagi na możliwość powstawania szeregu uszkodzeń w warstwie adhezyjnej. W rozdziale przedstawiono również szczegółową charakterystykę połączeń zgrzewano, nitowo, klinczowo i śrubowo – klejowych w oparciu dobrze zrealizowany przegląd literaturowy w szczególności prezentujący wyniki badań eksperymentalnych nośności i wytrzymałości połączeń klejowych.

- **Rozdział drugi** przedstawiający cele badawcze oraz hipotezę badawczą, jak również szczegółowy zakres badań i obliczeń jakie przedstawione będą w prezentowanej pracy. Przedstawiona praca ma charakter eksperymentalny wraz z badaniami numerycznymi weryfikowanymi wynikami przeprowadzonych pomiarów. Głównym celem badawczym pracy jest opracowanie metodologii badawczej pozwalającej na możliwość poprawy własności wytrzymałościowych złączy hybrydowych (mechaniczno – klejowych) poprzez badania numeryczne i eksperymentalne. Autor określa zakres przeprowadzonych badań statycznych i zmęczeniowych dla przygotowanych próbek z zmodyfikowanym schematem montażu łączników oraz ich odległości od krawędzi złącza. Autor

precyzuje również cele i zakres analiz numerycznych prowadzonych metodą elementów skończonych w celu oceny rozkładu pól naprężeń dla modelowanych geometrii połączenia.

- **Rozdział trzeci** w którym doktorant przedstawia proces badania przygotowanych próbek dla różnych schematów geometrii przygotowanego połączenia. Badania prowadzono w oparciu o wytyczne znajdujące się w normie PN - EN ISO 9664. Autor w szczegółowy sposób przedstawia proces przygotowania i wykonania próbek w tym zastosowane materiały oraz żywice. Badania prowadzono dla szeregu próbek a rejestrowane wyniki w tym wartości rozrzutu oceniane były właściwą miarą statystyczną. W rozdziale autor przedstawia badania nośności i trwałości zmęczeniowej dla różnych długości zakładki wykonanego połączenia. Ponadto w ramach przygotowanych geometrii połączeń hybrydowych oraz dla dwóch różnych wariantów przygotowania powierzchni. Rejestrowane wyniki przedstawiane są tabelarycznie oraz graficznie w postaci wykresów słupkowych. Podobnie wykonywane są badania dla przygotowanych próbek z zmodyfikowanymi geometriami rozmieszczenia łączników mechanicznych. Badania prowadzone były w celu identyfikacji procesu niszczenia złącza dla dwóch wariantów rozmieszczenia łączników w oparciu o normatywne wytyczne lokalizacji szwów połączeń w odległości granicznej od krawędzi złącza. Badania te pozwoliły na uzyskanie wyników identyfikujących parametry lokalizacyjne łączników w celu optymalizacji trwałości zmęczeniowej stosowanych połączeń. Uzyskane wyniki w tym znaczące zmiany dla trwałości zmęczeniowej połączeń hybrydowych walidowane były z wykorzystaniem modelu MES w celu oceny korelacji zmian geometrii łączników na wynikowe pole naprężeń w połączeniu. Autor finalnie przedstawia również dyskusję uzyskanych wyników co pozwala uzyskać częściowe wyniki dla oceny procesu zmian i modyfikacji złączy klejowych.

- **Rozdział czwarty** przedstawia podejście do analiz numerycznych złączy hybrydowych w oparciu o planowane zmiany własności warstwy adhezyjnej. W rozdziale autor dokonuje wprowadzenia do metodyki obliczeń za pomocą prezentacji mechanicznego modelu analizowanego połączenia oraz warunków brzegowych dla wartości i kierunków obciążeń realizowanych w trakcie pracy takiego złącza. W tym celu autor definiuje wartości geometryczne przyjętych modeli, określa rodzaje kontaktów dla połączonych materiałów, jak również tabelaryzuje wartości materiałowe dla zastosowanych w badaniu grup materiałowych i wytrzymałościowych oraz środków adhezyjnych. Autor prowadzi analizy dla wybranego wariantu geometrii złącza w oparciu o wyniki uzyskane w poprzednim rozdziale. Przedstawione modele umożliwiają ocenę wartości pól naprężeń dla zastosowanych w połączeniach sklein z różnych spoiw. Ciekawym elementem jest również analiza naprężeń dla zastosowanych łączników w funkcji parametrów wykonanego złącza (hybrydowe i mechaniczne) przedstawiająca zasadność stosowania połączeń hybrydowych i konieczność ich optymalizacji co stanowi istotny i centralny element badawczy pracy. Autor dokonuje również interesującej z użytecznego punktu widzenia oceny wpływu zmian własności warstwy adhezyjnej na rozkład naprężeń modelu naprawczego dla złącza zakładkowego. W dalszej części rozdziału autor dokonuje eksperymentalnych badań weryfikacyjnych dla wariantowych połączeń mechanicznych nitowanych i połączeń hybrydowych. Autor wprowadza również ciekawy wariant badawczy w postaci wykorzystania elementu modyfikującego parametry wytrzymałościowe złącza hybrydowego za pomocą tkaniny szklanej. Dla przedstawionych dziewięciu wariantów połączeń realizowane są badania trwałości zmęczeniowej. Uzyskane wyniki przedstawiono w postaci tabelarycznej umożliwiającej ocenę procesu badawczego w postaci liczby zrealizowanych cykli a miara rozrzutu związana jest ze zmianami wprowadzonymi w przygotowanym złączu. Elementem o znacznej wartości użytecznej pracy jest część badawcza związana z realizacją

badan zmęczeniowych węzła naprawczego podczas badań wytrzymałościowych belki ogonowej śmigłowca Mi-8. Badania prowadzono wraz z rejestracją pola odkształceń za pomocą tensometrii elektrooporowej. W trakcie badań wykonana była naprawa a rejestrowane wyniki pozwoliły na ocenę efektywności zastosowanego połączenia naprawczego w szczególności w tzw. ścieżce przenoszenia obciążenia oraz jego trwałości. Badania dowiodły możliwości wykonywania napraw takich konstrukcji za pomocą połączeń hybrydowych dla utrzymania trwałości zmęczeniowej naprawianej konstrukcji.

- **Rozdział piąty** przedstawia problematykę badania połączeń wykonanych z polimerowych kompozytów wzmacnianych włóknem węglowym. Materiały te coraz powszechniej stosowane są w konstrukcjach statków powietrznych z uwagi na ich własności wytrzymałościowe jak również możliwości kształtowania geometrii badanych elementów oraz parametry fizykochemiczne. Autor w rozdziale przedstawia badania statyczne i zmęczeniowe próbek wykonanych z kompozytu polimerowego wzmacnianego włóknem węglowym dla wykonanych złączy mechanicznych i hybrydowych. Autor realizuje badania wraz z obserwacją procesu niszczenia połączenia oraz weryfikacją jego struktury za pomocą tomografii komputerowej. Przedstawione wyniki pozwoliły autorowi na ocenę wartości obciążeń powodujących proces degradacji połączenia, ocenę mechanizmów niszczenia, kontrolę procesu uszkodzenia za pomocą mikroanalizy materiałowej oraz wstępną ocenę technologii wykonywania połączeń dla takich konstrukcji.

- **Rozdział szósty** w którym autor przedstawia podsumowanie wyników badań. Na podstawie przeprowadzonych badań oraz wyników analiz numerycznych autor formułuje wnioski pozwalające na uzyskanie celów badawczych przedstawionej pracy. Dzięki przeprowadzonym badaniom uzyskano wyniki pozwalające na określenie geometrii lokalizacji łączników w funkcji odległości od krawędzi połączenia. Autor ponadto określa możliwości modyfikacji warstwy adhezyjnej w celu polepszania własności wytrzymałościowych. Przedstawione wyniki pozwoliły również określić wpływ sposobu przygotowania powierzchni, spoiny oraz rodzajów zastosowanych łączników na wytrzymałość połączenia. Istotnym elementem podsumowania jest również przedstawienie użytkowych wyników przeprowadzonej pracy – umożliwiających wykorzystanie wyników w praktyce eksploatacyjnej.

2. Ocena tematu, celu i zakresu pracy

Autor przedstawia cele, hipotezę i zakres badawczy swojej rozprawy w rozdziale trzecim. Głównym celem rozprawy przedstawionym przez doktoranta jest **określenie możliwości oraz metod poprawy parametrów wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych (klejowo – mechanicznych) za pomocą opracowanych metod ich modyfikacji**. W przedstawionej identyfikacji zadania badawczego autor odwołuje się do przedstawionych w literaturze rozwiązań związanych z lokalizacją łączników w najmniej efektywnym miejscu z uwagi na charakter sposobu przenoszenia obciążeń. Na tej podstawie autor identyfikuje kierunek badawczy, przyjmując założenia, iż zmiana lokalizacji łączników w połączeniu hybrydowym w sposób znaczący wpływa na poprawę własności wytrzymałościowych takiego połączenia. Ponadto kompleksowe podejście do oceny możliwości poprawy własności wytrzymałościowych i użytkowych takiego połączenia może wypełnić istniejącą lukę publikacyjną i użytkową dla połączeń hybrydowych. Po przeprowadzeniu identyfikacji zagadnienia badawczego autor definiuje cele badawcze co świadczy o dobrym przygotowaniu autora do przeprowadzenia samodzielnego procesu badawczego. Głównym celem badawczym autora jest już

powyżej zdefiniowana chęć poprawy własności wytrzymałościowych i użytkowych połączeń hybrydowych poprzez modyfikację projektowo – wykonawczą takich złączy. Cel ten jest osiągnięty przez przeprowadzenie szeregu badań eksperymentalnych oraz symulacyjnych prowadząc finalnie do możliwości korelacji uzyskanych wyników w celu przeprowadzenia wnioskowania. Autor w sposób usystematyzowany i uporządkowany prowadzi badania weryfikując je z uzyskanymi wynikami oraz prezentując w sposób umożliwiający dokonanie bezpośredniej oceny otrzymanych wyników. W przygotowanej pracy autor przedstawia również możliwość wykorzystania napraw hybrydowych w konstrukcjach statków powietrznych. Stosowanie takich napraw jest konieczne z uwagi na proces starzenia się statków powietrznych oraz występowania anomalnych stanów eksploatacyjnych lub też zagrożeń balistycznych. W przedstawionych w dysertacji wynikach autor przedstawia praktyczny aspekt swojej pracy poprzez walidację możliwości wykorzystania naprawy elementu konstrukcyjnego za pomocą złącza hybrydowego, co pozwala na dalszą eksploatację tego elementu. Takie proces badawczy stanowi, iż przedstawiona **praca ma charakter użyteczny** a jej wyniki mogą być wykorzystane w praktyce eksploatacyjnej statków powietrznych.

W prezentowanej pracy autor przedstawia również podejście do wykorzystania opracowanej przez niego metodologii do analizy własności połączeń hybrydowych jakie będą mogły być zastosowane w konstrukcjach kompozytowych. Przedstawiony rozdział stanowi znaczący wkład w pracę która może być realizowana jako oddzielny proces badawczy - a prowadzone przez doktoranta badania cechuje wysoka świadomość istnienia zagrożeń w takich połączeniach.

Całość przedstawionej pracy jest zgodna z przedstawionym celem badawczym jak również przedstawia odpowiedź na postawioną hipotezę badawczą.

Na tej podstawie **uważam, iż podjęcie zaproponowanej tematyki jest celowe i użyteczne** a praca z uwagi na jej zakres badawczy obejmujący projektowanie połączeń klejowych, optymalizację procesu wykonywania połączenia, specjalizowane badania eksperymentalne oraz numeryczne jak również weryfikację wyników ma charakter **użyteczny** a uzyskane wyniki mogą mieć zastosowanie w praktyce eksploatacyjnej statków powietrznych.

3. Ocena rozprawy

Zaproponowane przez autora pracy podejście badawcze w pełni zawiera elementy procesu badawczego. W pracy występują następujące elementy samodzielnego prowadzenia badania naukowego:

- identyfikacja problemu badawczego,
- opracowanie metodologii realizacji i przygotowania badań oraz wykonania próbek badawczych,
- przygotowanie i realizacja badań numeryczno- symulacyjnych;
- proces analizy uzyskanych wyników na podstawie przeprowadzonych badań i symulacji numerycznych.

Istotnym elementem pracy jest również jej charakter użyteczny. Na podstawie przeprowadzonych badań autor dokonuje walidacji opracowanej metodologii procesu badawczego w trakcie badań zmęzeniowych elementu konstrukcyjnego statku powietrznego. Z uwagi na prowadzone programy nadzorujące procesy starzenia się statku powietrznego oraz integralności struktury, zagadnienia wykonywania napraw stanowią istotny element ich realizacji. W przedstawionej pracy widać doświadczenie osoby przygotowującej dysertację jako badacza posługującego się nowoczesnym warsztatem pracy naukowej w dziedzinie technicznej w którym znajduje się planowanie i wykonanie eksperymentu badawczego wraz z rejestracją i analizą danych ale również możliwością modelowania

procesów za pomocą narzędzi symulacji numerycznych. W mojej ocenie praca spełnia wymagania związane z wniesieniem oryginalnego wkładu w obszar poznawczy dziedziny naukowej jaką zajmuje się doktorant. Przedstawiona tematyka jest związana z istotnym wsparciem eksploatacji statków powietrznych jakim jest wykorzystanie napraw w konstrukcji elementów strukturalnych. Przedstawiona do oceny praca ma charakter **użyteczny** i wynikające z niej wnioski mogą zostać wykorzystane do wsparcia w realizacji programów zapewnienia integralności konstrukcji lotniczych.

Do podstawowych zalet rozprawy pod względem opisu przedstawionego problemu, wyboru metod i zakresu badań oraz sposobu jego rozwiązania zaliczam:

- a) podjętą tematykę rozprawy oraz szeroki zakres przedstawionych w pracy badań doświadczalnych;
- b) opracowanie metodologii badań numerycznych oraz ich realizację dla zaproponowanych geometrii połączeń zakładkowych;
- c) bardzo dobrze zrealizowaną część analityczną pracy wraz z podejściem do korelacji uzyskanych wyników;
- d) dobrze przeprowadzoną część badawczą w zakresie identyfikacji wpływu parametrów modyfikacji własności skleiny na proces powstawania uszkodzeń dla modeli napraw;
- e) eksperymentalną weryfikację opracowanej modyfikacji połączenia w walidacji problemu trwałości zmęczeniowej elementu strukturalnego statku powietrznego;
- f) identyfikację procesów niszczenia połączenia wraz z korelacją przyczynowo – skutkową prowadzącą do właściwego sposobu wyboru metody optymalizacji takiego połączenia;
- g) dobrze przeprowadzone rozpoznanie literaturowe w zakresie obecnie stosowanych metodologii optymalizacji własności połączeń klejowych w tym analizę „luk wiedzy” umożliwiającą właściwe postawienie celu badawczego;
- h) szeroki zakres badań pozwalający na uzyskanie znaczącej bazy wyników do wykorzystania np. w optymalizacji modeli numerycznych oraz procesów niszczenia;
- i) jasny i logiczny podział pracy na elementy: przygotowawcze do procesu naukowo – badawczego, symulacyjne i analityczne oraz eksperymentalne i spójne przejścia pomiędzy poszczególnymi rozdziałami;
- j) edycyjnie i stylistycznie dopracowaną pracę.

Z uwagi na szeroki zakres przeprowadzonych badań praca nie jest wolna od wad do których zaliczam:

- a. brak głębszej dyskusji o możliwych badaniach diagnostycznych pozwalających na wczesnym etapie identyfikować proces uszkodzania skleiny. W pracy autor zamieścił odwołanie jedynie do według niego zawodnej metody ultradźwiękowej, jednakże stosowane są inne metody i takie jak akustyczne niskoczęstotliwościowe (ang. *bond testing*) lub metody termografii które mogą pozwolić identyfikować proces degradacji takiego połączenia;
- b. Na rysunku 1.35 przedstawiono wyniki trwałości zmęczeniowej różnych rodzajów połączeń – dla których nie skomentowano uzyskanych wartości liczby cykli dla połączenia śrubowego z podkładką okrągłą (znacząco większa liczba zarejestrowanych cykli) oraz połączenia śrubowego z kwadratową podkładką (połączenia nr 6 i nr 7);
- c. W tablicy 3.6 na stronie 97 brakuje oznaczeń („wyjaśnienia”) grup elementów dla poszczególnych składowych materiałów zastosowanych w procesie analitycznym;
- d. W tablicy 3.4. oraz tablicy 3.3. wartości trwałości zmęczeniowej w zależności od numeru próbki dla połączeń klejowych są analogiczne i brakuje komentarza czy wyniki dotyczą analogicznych próbek.
- e. Drobne błędy edycyjne i stylistyczne które nie wpływają na odbiór oraz ocenę pracy.

Ponadto oczekuję od autora rozprawy odpowiedzi na poniższe spostrzeżenia:

1. W rozdziale 3 str. 81 autor przedstawia wybrane parametry zewnętrzne wykonywania połączenia klejowego. W pewnych przypadkach takie połączenia będą musiały być wykonywane na elementach konstrukcyjnych statku powietrznego. Czy istnieją a jeżeli tak – to jakie są inne ograniczenia środowiskowe do wykonywania takiego połączenia i w jaki sposób należy je zapewnić podczas wykonywania takiego połączenia?
2. W tablicy 3.2 autor przedstawia trwałość zmęczeniową połączeń o zakładce równej 25 mm. Dla połączeń klejowych oraz mechanicznych przedstawione są znaczne rozrzuty liczby cykli do zniszczenia. Proszę o komentarz do uzyskanych wyników.
3. W tablicy 3.5 przedstawiono liczby elementów oraz węzłów obliczeniowych modelu połączenia. Proszę o komentarz dla uzyskanych wartości elementów dla modelu 2d w szczególności dla siatki heksa ?
4. W tablicy 3.4. oraz tablicy 3.3. wartości trwałości zmęczeniowej w zależności od numeru próbki dla połączeń klejowych są analogiczne. Czy są to te same próbki?
5. Proszę o komentarz do kryteriów wyboru współczynnika f dla modelu kontaktu między elementami przedstawionego w tabeli 3.7 na str. 99.

4. Wniosek końcowy

Praca doktorska przedstawiona przez płk mgr inż. Jarosława Gąsiora, jej zawartość i forma pomimo opisanych nieścisłości wskazuje na jego znaczną wiedzę w zakresie metod realizacji badań oraz oceny wykonania połączeń klejowych. Sposób przygotowania i realizacji badań oraz przygotowania pracy wskazuje na umiejętność samodzielnego prowadzenia badań i przygotowania eksperymentu naukowego.

Podsumowując uważam, że poziom przedstawionej pracy **spełnia wymagania stawiane** rozprawom doktorskim w rozumieniu **art. 13 pkt 7 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2017 r., poz 1789) w związku z Art. 179, ust.1, Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r., „Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym” (Dz.U. z 2018 r., poz 1669)**. W związku z powyższym wnioskuję o dopuszczenie mgr inż. Jarosława Gąsiora do publicznej obrony jego rozprawy. Ponadto z uwagi na istotną kompleksowość przeprowadzonych badań, szerokie podejście do analizy problemu obejmujące modelowanie procesów, analizę i przeprowadzenie pomiaru oraz duże znaczenie aplikacyjne uzyskanych wyników wnoszę o wyróżnienie pracy płk mgr inż. Jarosława Gąsiora.



