

Prof. dr hab. inż. Jerzy Merkisz  
Profesor zwyczajny  
Politechnika Poznańska  
Instytut Silników Spalinowych i Transportu

Poznań, 23.01.2018 r.

## O C E N A

rozprawy doktorskiej mgr inż. Anny Yakovlievej

**pt. „Analytical and experimental selection of fuel with bio-additives  
for aircraft jet engine”**

Podstawa opracowania: zlecenie Dziekana Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, prof. dr. hab. inż. Jarosława Sępa (pismo nr RM-530-14-03-2017 z dnia 16.10.2017 r.), dla mojej osoby, na podstawie dostarczonej rozprawy doktorskiej pod wyżej wymienionym tytułem.

W ocenie rozprawy przyjąłem kryteria wynikające z postanowień obowiązującej Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 z późniejszymi zmianami).

### 1. AKTUALNOŚĆ ROZPRAWY

Dynamiczny rozwój transportu lotniczego na świecie determinuje poszukiwanie rozwiązań najbardziej optymalnych w obszarze konstrukcji i eksploatacji statków powietrznych. Ciągły wzrost zapotrzebowania na tego rodzaju przemieszczenia i chęć docierania do jak najszerszego grona odbiorców usług w obszarze przewozów drogą lotniczą wyznacza z jednej strony możliwości uzyskania określonych korzyści społeczno-gospodarczych, z drugiej natomiast stanowi wyzwanie dla różnych aspektów inżynierii z zakresu budowy i eksploatacji maszyn. Dlatego też dostrzega się konieczność ciągłego doskonalenia systemów transportu lotniczego, zwłaszcza w zakresie ich zespołów napędowych. Coraz surowsze regulacje prawne i normy dla obszaru lotnictwa wymuszają działania zmierzające do poprawy parametrów i wskaźników pracy, w tym szczególnie sprawności ogólnej silnika. Za powyższym trendem stoi konieczność doskonalenia procesów dynamicznych zachodzących w silnikach przepływowych, w wyniku czego możliwe jest odpowiednie zarządzanie bilansem energii wykorzystywanej do realizacji określonych zadań przewozowych. Wymiernym działaniem niezbędnym w tym zakresie jest dążenie do zmniejszenia jednostkowego zużycia paliwa przy zachowaniu tych samych charakterystyk eksploatacyjnych silnika i odbiornika mocy. Dodatkowym czynnikiem oddziałującym na obserwowane zmiany w lotnictwie jest szeroko rozumiana niska szkodliwość dla środowiska naturalnego. Coraz surowsze limity emisji toksycznych składników spalin i zużycia paliwa, a także restrykcyjne wymagania ekologiczne dotyczące całego „cyklu życiowego” silnika zmuszają konstruktorów do stałego doskonalenia jego konstrukcji. Czynniki ekologiczne są obecnie najważniejszymi czynnikami rozwoju silników spalinowych, a jednym z najważniejszych sposobów poprawy wskaźników eksploatacyjnych i zmniejszenia emisji

składników szkodliwych jest odpowiedni dobór paliwa do silnika przepływowego oraz właściwe przetworzenie energii w nim zawartej (spalanie całkowite i zupełne).

Konieczne jest poszukiwanie nowych paliw i istotna zmiana składu chemicznego paliw obecnie stosowanych. Jedną z dróg znacznego zmniejszenia emisji związków toksycznych jest stosowanie różnych paliw alternatywnych, tzw. czystych (*clean fuel*). Temu zagadnieniu jest poświęcona oceniana rozprawa doktorska, co świadczy o dobrym i aktualnym doborze jej tematyki. Podjęcie studiów i badań w wyżej wymienionej tematyce jest ze wszech miar wskazane i pożyteczne dla nauki, przede wszystkim dla dyscypliny „Budowa i eksploatacja maszyn”, a zwłaszcza wiedzy dotyczącej zasilania spalinowych zespołów napędowych statków powietrznych paliwami o określonych parametrach fizykochemicznych, z punktu widzenia sprawności procesów dynamicznych zachodzących w silniku i uzyskiwanych parametrów i wskaźników pracy. Z uwagi na dążenie do minimalizacji negatywnego oddziaływania systemów transportowych na środowisko naturalne i człowieka, konieczne jest poszukiwanie paliwa o jak najmniejszej emisji składników szkodliwych spalin przy zachowaniu określonych charakterystyk eksploatacyjnych obiektu zależnie od jego przeznaczenia.

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Yakovlievej pt. „Analytical and experimental selection of fuel with bio-additives for aircraft jet engine” jest podzielona logicznie na dziesięć merytorycznych rozdziałów, ujętych na 123 stronach maszynopisu. Rozprawę uzupełniono o wykaz skrótów i oznaczeń, oraz streszczenia w języku angielskim i polskim (umieszczone na końcu rozprawy). Został w niej przedstawiony bogaty materiał ilustracyjny uzupełniony tabelami oraz obszerna literatura zawierająca 179 pozycji (w tym 58 pozycji rosyjskojęzycznych, 21 regulacji prawnych i norm oraz 18 źródeł elektronicznych). Układ rozprawy doktorskiej jest następujący:

- **Rozdział 1: Wstęp** – nakreślenie znaczenia i roli transportu lotniczego w zakresie bilansu energii i emisji składników szkodliwych spalin, w tym wzrostu negatywnego oddziaływania tych systemów transportowych w kontekście stosowanych paliw nieodnawialnych. W rozdziale tym wskazano zasadność zastosowania paliw alternatywnych do zasilania silników lotniczych ze względu na ich zalety i możliwości doskonalenia składu chemicznego i zmniejszenia emisji spalin, którego podsumowaniem była propozycja opracowania mieszanek paliw z biokomponentami, spełniających obecne i przyszłe regulacje prawne w tym obszarze tematycznym;
- **Rozdział 2: Obecny stan w zakresie produkcji i użytkowania paliw do silników turboodrzutowych** – stanowiący ocenę aktualnego stanu wiedzy w zakresie technologii produkcji i stosowania w eksploatacji paliw do tego rodzaju silników (opis technologii wytwarzania, czynników determinujących zastosowanie paliw alternatywnych, wytwarzanie i zastosowanie w eksploatacji biopaliw pierwszej, drugiej i trzeciej generacji do silników przepływowych);
- **Rozdział 3: Wpływ parametrów paliwa na pracę i eksploatację silnika turboodrzutowego** – w rozdziale tym opisano proces wtrysku paliwa i tworzenia mieszanki palnej, a następnie proces spalania w silniku i tworzenia składników szkodliwych spalin (CO, HC, NO<sub>x</sub> i cząstek sadzy). Dodatkowo zaprezentowano zagadnienie uzyskiwania określonych osiągnięć przez tego rodzaju silnik;
- **Rozdział 4: Normy i wymagania techniczne dla paliw silników przepływowych** – powyższe zagadnienia opisano, uwzględniając sprawność ogólną silnika i jego niezawodność i oddziaływanie środowiskowe; z uwzględnieniem aktualnych międzynarodowych regulacji prawnych dla lotnictwa cywilnego;
- **Rozdział 5: Cele i zakres rozprawy** – sformułowanie celu głównego rozprawy, schematu postępowania i zadań szczegółowych, istotności tematyki oraz 3 tez naukowych;
- **Rozdział 6: Rozwój biokomponentów do paliw silników przepływowych** –

przedstawiono proces technologiczny wytwarzania paliw do tego rodzaju silników z dodatkiem biokomponentów, a następnie strukturę cząsteczkową i właściwości opracowanych paliw;

- **Rozdział 7: Pełny opis właściwości fizyko-chemicznych i eksploatacyjnych paliwa do silnika przepływowego z biokomponentami** – badania laboratoryjne 5 wybranych mieszanek paliw silnikowych o określonym udziale względnym biokomponentów w paliwie z punktu widzenia określonych właściwości fizyko-chemicznych i eksploatacyjnych, które uzupełniono o analizę porównawczą powyższych paliw w odniesieniu do paliwa konwencjonalnego;
- **Rozdział 8: Badania parametrów eksploatacyjnych silnika przepływowego zasilanego paliwami z biokomponentami** – obejmuje badania parametrów pracy silnika zasilanego paliwem konwencjonalnym z biokomponentami oraz analizę uzyskanych wyników;
- **Rozdział 9: Ocena emisji z silnika turbodrzutowego zasilanego paliwami z biokomponentami** – określenie emisji dla cyklu ICAO dotyczącego startu lądowania statku powietrznego, z uwzględnieniem takich składników jak CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub> i NO<sub>x</sub>;
- **Rozdział 10: Wnioski końcowe** – podsumowanie studiów teoretycznych i badań własnych zrealizowanych w rozprawie oraz nakreślenie kierunków dalszych prac w tym zakresie.

W monografii podjęto aktualny i ważny z naukowego i praktycznego punktu widzenia problem optymalnego doboru paliwa z dodatkami biokomponentów do zasilania silników turbodrzutowych statków powietrznych. Powyższy problem jest przedmiotem prac badawczych realizowanych przez wiodące światowe ośrodki naukowo-badawcze i przemysłowe, które dysponują często znacznymi nakładami finansowymi, a duża liczba publikacji ukazujących się na całym świecie wskazuje na dużą konkurencję w tej tematyce. Podjęta zatem przez Autorkę próba usystematyzowania stanu wiedzy i zaproponowanie własnych rozwiązań dowodzi dobrego rozeznania i przygotowania w omawianej dyscyplinie naukowej.

## 2. OCENA MERYTORYCZNA

Rozprawa doktorska mgr inż. Anny Yakovlievej jest znaczącym osiągnięciem Autorki w zakresie objętym tytułem i zawiera wiele elementów, które można uznać za Jej oryginalny dorobek, stanowiący wkład w dziedzinę nauki z zakresu budowy i eksploatacji maszyn, w obszarze opracowania i zastosowania paliw o określonych właściwościach fizyko-chemicznych do systemów transportu lotniczego z uwzględnieniem obecnych i przyszłych wymagań w zakresie uzyskania określonych charakterystyk eksploatacyjnych silnika i statku powietrznego oraz jak najmniejszego oddziaływania środowiskowego (emisji składników szkodliwych).

Autorka przyjęła za cel naukowy rozprawy: Zbadanie wybranych kryteriów selekcji paliw o optymalnej zawartości biokomponentów do stosowania w paliwach turbodrzutowych statków powietrznych.

Głównymi kryteriami wyboru paliwa o określonym składzie fizykochemicznym do silnika turbodrzutowego były: wymagania normatywne dotyczące parametrów fizyko-chemicznych i eksploatacyjnych paliw z biokomponentami, parametry pracy silnika turbodrzutowego zasilanego przez powyższe mieszaniny paliw oraz ich emisja składników szkodliwych spalin.

W celu realizacji założonego celu naukowego Doktorantka sformułowała **zadania szczegółowe** niezbędne do jego realizacji:

- rozwój technologii produkcji biokomponentów (FAME i FAEE),
- zbadanie i analiza składu chemicznego biokomponentów i struktury molekularnej,
- empiryczne badanie właściwości fizyko-chemicznych biokomponentów otrzymanych

- w wyniku estryfikacji RO,
- badania eksperymentalne i analiza wpływu FAME i FAEE na cechy paliw do silnika odrzutowego zmieszanych z biokomponentami w różnych proporcjach i ich zgodność z wymaganiami normatywnymi,
  - obliczenie emisji składników szkodliwych spalin z silnika turboodrzutowego zasilanego powyższymi paliwami,
  - wyznaczenie określonych charakterystyk parametrów pracy silnika zasilanego paliwem „bazowym” oraz mieszankami tego paliwa z biokomponentami,
  - uzasadnienie kryteriów wyboru biopaliw do silników odrzutowych.

Studia własne Autorki rozprawy nad problemem naukowym określonym tematem dysertacji pozwoliły na wskazanie powyższego celu naukowego i zadań szczegółowych, a w dalszej kolejności na sformułowanie następujących **tez naukowych**:

1. Zastosowanie biokomponentów pochodzących z oleju rzepakowego w paliwie do silników odrzutowych, dla określonej liczby skonfigurowanych mieszanek, nie przekracza wartości aktualnych wymagań normatywnych w odniesieniu do paliwa lotniczego.
2. Udział procentowy biokomponentu w paliwie do silników odrzutowych, do wartości pozwalającej na spełnienie obecnych wymagań normatywnych, nie wymaga zmian konstrukcyjnych w silniku odrzutowym.
3. Zastosowanie biokomponentów pochodzących z oleju rzepakowego w paliwie do silników odrzutowych zmniejsza emisję składników szkodliwych spalin z silnika odrzutowego.

Wśród niewątpliwych korzyści, jakie wynikają z osiągnięć rozprawy doktorskiej uzyskanych w ramach rozwiązania sformułowanych problemów badawczych są te, które pozwalają rozwinąć proces badawczy o następne, bardziej zaawansowane, badania, takie jak:

1. Opracowanie nowych rodzajów biokomponentów z różnych surowców,
2. Opracowanie nowych technologii przetwarzania surowców i produkcji biokomponentów,
3. Poprawa właściwości biokomponentów i mieszanych paliw do silników odrzutowych w niskich temperaturach,
4. Poprawa właściwości energetycznych biokomponentów i mieszanin,
5. Badanie i poprawa stabilności chemicznej i termicznej oksydacji biokomponentów zmieszanych paliw silnikowych,
6. Dążenie do zwiększenia udziału biokomponentów w paliwie lotniczym do 50% (v/v).

Tematyka rozprawy mgr inż. Anny Yakovlievej dotyczy zagadnień łączących studia teoretyczne i empiryczne nad zagadnieniami istotnymi w obszarze poszukiwania optymalnego rodzaju i składu paliwa dla zastosowań w transporcie lotniczym. Obszar badawczy i trafność ujęcia tematu wychodzą naprzeciw współczesnym dążeniom w tym zakresie, wymuszonym wymaganiami w obszarach poprawy sprawności ogólnej mechatronicznego systemu przekształcenia energii zawartej w paliwie na pracę mechaniczną. Powyższe dążenie do coraz większej sprawności ogólnej silnika turboodrzutowego rzutuje na uzyskiwane wskaźniki eksploatacyjne samego silnika jak i statku powietrznego, zagadnienia istotnego z punktu widzenia inżynierii mechanicznej (wytrzymałość i konstrukcja), w tym niezawodności systemu i bezpieczeństwa procesu przewozowego oraz oddziaływania środowiskowego, którego źródłem jest proces spalania zachodzący w silniku. Powyższa świadomość Autorki, której dowodem są, między innymi, poprawnie sformułowane cele i zadania oraz tezy pracy, a w dalszej kolejności merytoryczne i szczegółowe rozwiązanie problemu naukowego, zgodnie z zasadami metodologii nauk empirycznych w obszarze inżynierii budowy i eksploatacji maszyn, przekłada się na dojrzałość naukową ocenianego dzieła i jej wysoki poziom merytoryczny i edytorski. Język rozprawy jest czytelny, zawierający chronologiczny układ i przejrzystość kolejnych rozważań nad określonymi problemami badawczymi. Zarówno cel pracy jak i tezy są sformułowane poprawnie. Wybór do badań tego typu silnika turboodrzutowego jest uzasadniony i celowy. Wybór stosowanych w trakcie badań paliw wydaje się być nieprzypadkowy i uzasadniony, zwłaszcza gdy uwzględni się obecne i

przyszłe zmiany norm emisji składników szkodliwych obowiązujące dla źródeł napędu stosowanych w systemach transportu lotniczego.

Rozważania merytoryczne nad kolejnymi aspektami problemowymi rozprawy zostały potwierdzone z zastosowaniem właściwie dobranych i aktualnych źródeł literaturowych. Autorka pracy zachowała odpowiednią proporcję między częścią teoretyczną i badawczą dzieła naukowego, uwzględniając jednocześnie aspekty naukowe i aplikacyjne określonych dokonań własnych. Treści poruszane w rozprawie i sposób rozwiązania problemu naukowego oraz zastosowane metody i narzędzia badawcze należy uznać za oryginalny i aktualny dorobek Autorki dysertacji i wkład w rozwój nauki w dyscyplinie naukowej będącej przedmiotem oceny. Uwzględnienie analizy emisji składników szkodliwych spalin dla zastosowanych rodzajów paliw należy uznać za istotny element oceny środowiskowego oddziaływania zastosowanych rozwiązań dla turbodrutowego silnika lotniczego.

Wyniki przedstawionych własnych studiów teoretycznych i badań potwierdzają poprawność założonych celów a także przyjętych założeń i zadań szczegółowych. Reasumując powyższe rozważania, należy wskazać na dobry poziom merytoryczny i edytorski rozprawy, odpowiedni wybór i zastosowanie treści teoretycznych oraz wysoki poziom badań własnych Autorki, zarówno w ujęciu metodycznym jak i analitycznym, którego podsumowaniem jest prawidłowa ocena wyników i ich analiza szczegółowa. W wyniku tego rodzaju działań uzyskano jednoznaczny materiał analityczny do sformułowania prawidłowych wniosków o charakterze naukowym i użytkowym.

#### Podsumowanie wyników badań i wnioski końcowe

Całość pracy można podsumować następująco:

##### **1. dla badań właściwości fizykochemicznych nowych mieszanin paliw do silnika turbodrutowego:**

- mieszanie tradycyjnego paliwa z biokomponentami powoduje wzrost jego gęstości, co wynika z wzrostu energii dyspersyjnej interakcji między cząsteczkami węglowodorów paliwa i biokomponentów (gęstość nowej mieszaniny paliwa z biokomponentami spełnia wymagania specyfikacyjne,
- mieszanie tradycyjnego paliwa z biokomponentami prowadzi do wydłużenia składu frakcyjnego paliwa w kierunku końcowej temperatury wrzenia, co wynika ze znacznie silniejszych międzycząsteczkowych wiązań między cząsteczkami estrów i wyższej wartości ciepła parowania estru; analizując wymagania (podwyższone punkty końcowe wrzenia oznaczają, że biokomponenty mogą być również stosowane do mieszania z konwencjonalnymi paliwami silników turbodrutowych o ciężkim składzie frakcyjnym,
- mieszanie tradycyjnego paliwa z dodatkami biologicznymi powoduje zmniejszenie wartości netto ciepła spalania paliwa, co wynika z mniejszej zawartości wodoru w biokomponentach i znacznej ilości tlenu; podczas gdy zmiana wartości energetycznej dla nowych mieszanych paliw do silnika przepływowego jest minimalna (z uwagi na jej zwiększoną gęstość; wartość energetyczna mieszanin paliwa z biokomponentami jest na poziomie typowym dla konwencjonalnych paliw tego rodzaju silników). Dodatkowo, występuje znaczny wzrost lepkości kinematycznej paliwa, co ma miejsce w wyniku pojawienia się sił oddziaływań międzycząsteczkowych między cząsteczkami paliwa konwencjonalnego i estrów, oraz przyczynia się do ogólnego pogorszenia właściwości paliwa w niskich temperaturach, co ogranicza stosowanie biokomponentów w mieszaninach paliw; w ten sposób maksymalna zawartość biokomponentów wynosi 30% (v / v),
- mieszanie tradycyjnego paliwa z dodatkami biologicznymi powoduje dodatkowo: poprawę właściwości przeciwzuzyciowych paliwa (zwiększenie ilości środków

powierzchniowo czynnych w paliwie), wzrost bezpieczeństwa związanego z zapłonem paliwa (zwiększenie ilości składników o wyższym cieple parowania w porównaniu do paliw konwencjonalnych), brak negatywnego wpływu paliwa na generowanie procesu korozyjnego,

- Biorąc pod uwagę nieznaczną różnicę w charakterystyce paliw zmieszanych z estrami metylowymi i etylowymi, bardziej racjonalne jest stosowanie FAEE niż FAME (produkcja biokomponentów z całkowicie odnawialnych surowców).

## **2. dla badań laboratoryjnych parametrów eksploatacyjnych paliwa konwencjonalnego i dwóch mieszanin zawierających 10% i 20% zmodyfikowanego biokomponentu FAEE:**

- używanie paliwa konwencjonalnego z biokomponentami prowadzi do poprawy charakterystyki siły ciągu silnika (te same wartości siły ciągu można osiągnąć przy mniejszej prędkości obrotowej wirnika),
- stosowanie paliwa konwencjonalnego z biokomponentami prowadzi do znaczącej redukcji FF w porównaniu z paliwem konwencjonalnym, dzięki wyższym gęstościom zmieszanych paliw oraz do obniżenia temperatury gazu w układzie wylotowym w porównaniu do paliw konwencjonalnych (pozytywny wpływ na materiały i strukturę układu wylotowego silnika, redukcja emisji  $\text{NO}_x$ ), zmniejszenie względnej prędkości wirnika (mniejsza praca do uzyskania danej wartości siły ciągu), nieznacznie większy czas reakcji na przyspieszenie.

## **3. dla oceny emisji składników szkodliwych spalin silnika zasilanego paliwem konwencjonalnym i dwóch jego mieszanin z biokomponentami o udziale 10% i 20% zmodyfikowanego FAEE:**

- spalanie paliw konwencjonalnych zmieszanych z biokomponentami powoduje zmniejszenie emisji:  $\text{CO}_2$  (mniejsza zawartość węgla i relatywnie duża zawartość tlenu w biokomponentach),  $\text{H}_2\text{O}$  (mniejsza zawartość wodoru w biokomponentach,  $\text{SO}_2$  (śladowa ilość związków siarki w biokomponentach),  $\text{NO}_x$  (niższe temperatury czynnika na wlocie do silnika i w obszarze turbiny).

### **Zalety pracy**

Do osiągnięć naukowych i utylitarnych pracy zaliczyłbym:

1. Układ pracy odzwierciedla kolejność postępowania przy realizacji celów rozprawy i tworzy spójną całość,
2. Metodyka realizacji pracy jest poprawna i umożliwia stwierdzenie faktu zbieżności uzyskanych wyników studiów teoretycznych i badań własnych,
3. Rozprawa uzupełnia wiedzę z zakresu dyscypliny naukowej Budowa i eksploatacja maszyn oraz wnosi do niej elementy oryginalne i nowe,
4. Właściwy wybór problemu naukowego i sposobu jego rozwiązania,
5. Opracowanie nowej metody i procesu technologicznego produkcji biokomponentów do paliwa lotniczego,
6. Stworzenie i zastosowanie nowego rodzaju biokomponentów dla konwencjonalnego paliwa lotniczego do silników odrzutowych,
7. Zastosowanie procesu destylacji próżniowej, w celu zwiększenia czystości biokomponentów i poprawy ich właściwości fizykochemicznych,
8. Zastosowanie odnawialnych surowców takich jak etanol i olej rzepakowy do produkcji biokomponentów,

9. Określenie struktury i składu chemicznego biokomponentów za pomocą metody chromatografii, a w badaniach porównawczych analizowanych mieszanin wykorzystanie aparatu czterokulowego,
10. Uwzględnienie w procesie badawczym różnych udziałów biokomponentów dla mieszanin paliwa lotniczego, dzięki czemu możliwe było określenie, iż paliwo lotnicze zawierające do 30% (v/v) biokomponentów spełnia wymagania jakościowe dla konwencjonalnego paliwa do silników odrzutowych,
11. Uwzględnienie w procesie studiów własnych empirycznych badań stanowiskowych (rzeczywisty silnik turboodrzutowy), jako ważnego elementu weryfikacji założeń teoretycznych, w tym opracowanych modeli obiektów i procesów. W wyniku tego uzyskano rzeczywiste charakterystyki eksploatacyjne takich parametrów pracy silnika jak zużycie paliwa, siła ciągu, czas przyspieszenia silnika oraz temperatura w dyszy wylotowej obiektu badań,
12. Wyznaczenie rzeczywistej emisji składników szkodliwych spalin silnika z uwzględnieniem składu chemicznego biokomponentów.

### **Merytoryczne niedoskonałości pracy**

Wśród merytorycznych niedoskonałości pracy wyróżnić należy to, iż:

- cel i zakres pracy doktorskiej występuje dopiero w rozdziale 5, poprzedzonym rozdziałem Wprowadzenie i 3 dodatkowymi rozdziałami teoretycznymi, przez co dopiero wówczas odnotowuje się wyraźny zarys badań własnych nad sformułowanymi problemami naukowymi;
- praca zawiera tekst umieszczony pomiędzy rozdziałem głównym a pierwszym jego podrozdziałem; nie dotyczy on żadnego z podrozdziałów ani punktu głównego (np. rozdział 2 i punkt 2.1),
- niechronologiczne powoływanie się na źródła literaturowe w tekście głównym dysertacji na str. 9 (punkt 2.1),
- brak powoływania się w tekście głównym na określone materiały graficzne,
- zakończenie rozdziału 3 (str. 34) zawiera jedynie 4 zdania, można było umieścić powyższe treści na poprzedniej stronie; podobnie jest na str. 39 (jedynie 4 wersy zdania) i w dalszej części rozprawy (np. str. 50),
- stosowanie osobowej formy wypowiedzi, najczęściej w pierwszej osobie liczby mnogiej (np. str. 44),
- błędne stosowanie wcięć akapitu dla pojedynczych zdań (np. str. 55),
- niepoprawny zapis wzoru (9.4), na reakcje węgla C i tlenu O<sub>2</sub>, w wyniku których zapisano powstanie CO,
- brak wskazania w elektronicznych źródłach literaturowych daty aktualizacji stron.

Ponadto w pracy jest brak analizy błędów; nawet sama informacja na temat dokładności użytej aparatury nie daje przecież pełnego poglądu na dokładność pomiarów. Dzięki temu możliwe byłoby określenie wartości uzyskanych analiz i zależności funkcyjnych w kontekście istotności statystycznej i wartości informacyjnej sygnałów pomiarowych.

### **Pozostałe uwagi krytyczne:**

- w pracy dostrzega się błędy edycyjne, związane zarówno z poprawnością językową jak i formatowaniem tekstów prac naukowych;
- za duży rozmiar czcionki dla zapisu graficznego struktury cząsteczkowej FAME i FAEE w punkcie 6.2;
- w wykazie skrótów i oznaczeń nie zamieszczono wszystkich wielkości i skrótów, jakie stosuje się w treści głównej rozprawy;

- błędny zapis na wskaźnik BTL zapisany na str. 18 pracy jako BtL;
  - niepoprawny zapis zdania poprzedzającego wypunktowania wyróżnianych treści zapisane na str. 28 rozprawy; zdanie to powinno być już na następnej stronie przy prezentacji wypunktowań;
  - nie wolno dzielić między wiersze wyrażenia będącego reakcją chemiczną, jak to jest na str. 29 w przypadku  $N_2 + O_2 = 2NO$ ;
  - w pracy błędnie dzieli się wartość wielkości fizycznej i jej jednostkę, zapisując je w dwóch różnych wierszach, np. jak dla temperatury 1500 °C na str. 31;
  - różne zapisy liczebników porządkowych, czasami mają formę 10<sup>th</sup> a czasami 10<sup>th</sup>;
  - błędny zapis liczb dziesiętnych w tabeli 6.3, wyrażony przecinkami zamiast kropkami;
  - rysunki 7.1–7.3 można było skumulować na jednym rysunku, wyróżniając je w postaci wypunktowań i odpowiedniej legendy w podpisie rysunku;
  - brak odstępu między podpisem rysunku 7.16 a dalszą treścią rozprawy;
  - rodzaj czcionki na rysunku 7.25 i dalszych jest niezgodny z rodzajem przyjętym dla treści głównej i wcześniejszych materiałów graficznych w niej przedstawionych;
  - brak wypunktowania dla treści prezentowanych w punkcie 7.4.6 na str. 67 pracy w odniesieniu do właściwości przeciwzuzyciowych;
  - błędne wyrażenie jednostki na moment tarcia na rys. 7.31–7.49;
  - wyrażanie objętościowego natężenia zużycia paliwa w jednostkach niezgodnych z układem SI (rys. 8.10);
  - niejednoznaczny zapis tytułu osi Y na wykresie zawartym na rys. 9.2;
- Omawiane uwagi krytyczne nie umniejszają mojej pozytywnej oceny rozprawy.

### 3. PODSUMOWANIE I KONKLUZJA

Mimo powyższych uwag krytycznych, niektórych dyskusyjnych, realizację postawionego zadania należy ocenić bardzo wysoko ze względu na:

- prawidłowe określenie i zdefiniowanie przedmiotu badań,
- rzeczowy sposób prezentacji wyników,
- sumienność wykonania poszczególnych etapów pracy, dzięki czemu praca zawiera wiele elementów świadczących o nowatorskim wkładzie Autora w rozważaną dziedzinę,
- wykazane przez Autorkę bardzo dobre rozeznanie w prezentowanych dziedzinach wiedzy,
- wymierne osiągnięcia teoretyczno-aplikacyjne, pozwalające na szereg spostrzeżeń i wyciągnięcie interesujących wniosków.

Autorka podjęła się w dysertacji trudnego zadania, które z oczywistych względów nie wyczerpuje całości zagadnień związanych z problemami doboru paliwa z dodatkami biokomponentów do przepływowego silnika lotniczego. Wynika z tego konieczność dalszych badań nad kolejnymi problemami wynikającymi z dalszych studiów nad zagadnieniem. Autorka dysertacji jest świadoma powyższej konieczności, co zostało przedstawione w końcowej części pracy w formie zadań przewidzianych do zrealizowania w dalszych etapach pracy naukowo-badawczej mgr inż. Anny Yakovlievej w tym zakresie tematycznym. Powyższe fakty świadczą o kompetencjach Kandydatki w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych oraz wskazują na Jej dużą wiedzę ogólną i umiejętności praktyczne w dyscyplinie naukowej „Budowa i eksploatacja maszyn”, w której mieszczą się zagadnienia objęte rozprawą. W moim przekonaniu powyższe fakty świadczą również o wystarczających kompetencjach Doktorantki w zakresie samodzielnego ustalania tematyki i prowadzenia badań naukowych.



W związku z powyższym uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Anny Yakovlievej pt. „Analytical and experimental selection of fuel with bio-additives for aircraft jet engine” (promotor prof. dr hab. inż. Kazimierz Lejda) spełnia wymagania stawiane pracom promocyjnym na stopień doktora nauk technicznych, w rozumieniu ustawy *O stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki* z dnia 14 marca 2003 roku, i wnioskuję o dopuszczenie tej rozprawy do publicznej obrony.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a long vertical stroke extending upwards to the right.