

Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej

Wydział Budowy Maszyn i Informatyki

Katedra Silników Spalinowych i Pojazdów

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Mgr inż. Agaty Nykazy

Ocena emisji szkodliwych związków spalin podczas lotów samolotów akrobacyjnych

Recenzję opracowano na podstawie pisma

Przewodniczącego Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa i Transport

Politechniki Poznańskiej

Prof. dr hab. inż. Jacka Pielechy

Pismo z dnia 28.09.2020

OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA I OCENA ROZPRAWY

Praca dotyczy oceny emisji spalin lotniczych silników tłokowych samolotów sportowych podczas lotów akrobacyjnych. Badania przeprowadzone były na tłokowych silnikach lotniczych: Lycoming AEIO-580 DB1A oraz Lycoming-540 L1B5D. Są to silniki 6-cylindrowe typu bokser, chłodzone powietrzem. Do badań wybrano silniki Lycoming, które są najczęściej użytkowane na samolotach akrobacyjnych wykonujących loty na całym świecie. Określenie parametrów eksploatacyjnych samolotów akrobacyjnych, a w konsekwencji wartości emisji szkodliwych składników spalin, umożliwi określenie oddziaływania tego typu statków powietrznych na środowisko naturalne. Na podstawie przeanalizowanej literatury występuje brak informacji na temat badań, związanych z powyższymi analizami w aspekcie samolotów akrobacyjnych oraz z oceną ich oddziaływania na środowisko w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Celem pracy jest analiza oddziaływania samolotów akrobacyjnych na środowisko, opracowanie/zaproponowanie testów badawczych, a także wyznaczenie dalszych kierunków badań. W związku z dynamicznym rozwojem akrobacji i coraz większą liczbą użytkowanych sportowych samolotów akrobacyjnych, istnieje potrzeba zbadania oddziaływania lotniczych silników tłokowych na środowisko.

Założenia pracy:

- opracowanie/przyjęcie układu akrobacyjnego i wykonanie serii 10 lotów na obu samolotach badawczych, porównanie dwóch samolotów - samolot starszego typu, tj. Zlin 50LS oraz samolot nowszego typu Extra 330LC,
- pomiary emisji spalin podczas, tzw. „zimnego rozruchu”,
- pomiary emisji spalin podczas próby przedlotowej zaczerpniętej z instrukcji użytkownika w locie danego samolotu,
- pomiary emisji spalin podczas przelotu przyjętego układu akrobacyjnego, pomiar przeprowadzony na ziemi w oparciu o zarejestrowane parametry pracy silnika i płatowca podczas lotu akrobacyjnego.

Analiza procedur emisji pochodzenia lotniczego wykazuje braki w zakresie małych statków powietrznych, co tłumaczy się faktem, że użytkowanie samolotów lekkich nie jest tak powszechne, jak samolotów liniowych. Należy jednak zwrócić uwagę, że samoloty lekkie, a zwłaszcza samoloty akrobacyjne często są użytkowane w małych odległościach od osób trzecich. Realizację celu pracy rozpoczęto od przybliżenia zagadnień związanych z akrobacją lotniczą oraz wykorzystywanymi w niej statkami powietrznymi. Kolejnym etapem było zaproponowanie autorskiego układu akrobacyjnego. Podczas wykonywania wspomnianego układu akrobacyjnego, dokonano rejestracji prędkości obrotowej silnika oraz nastaw dźwigni ciągu. Zarejestrowane parametry posłużyły do opracowania propozycji autorskiego testu badawczego silników spalinowych stosowanych w samolotach akrobacyjnych.

Na przestrzeni 150 lat rozwoju tłokowych silników spalinowych zagadnienia dotyczące niezawodności silników są jednym z głównych celów działań konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych. Jednocześnie w lotnictwie dominuje dążenie do budowy jednostek o dużej koncentracji mocy. Na przestrzeni lat pomijano (zwłaszcza w lotnictwie) zagadnienia dotyczące emisji spalin i wpływu na środowisko naturalne. Spełnienie wymagań stawianych współczesnym napędem lotniczym może się odbywać na drodze badań doświadczalnych jak również badań symulacyjnych. Recenzowana praca jest przykładem pracy badawczej. Pracę wyróżnia opracowanie autorskiego testu badawczego emisji spalin w locie dla samolotu sportowego – akrobacyjnego.

Podjęcie i kontynuowanie prac w zakresie oceny emisji szkodliwych związków spalin podczas lotów samolotów akrobacyjnych należy uznać za celowe i uzasadnione. Taki charakter i cel ma rozprawa doktorska Pani mgr inż. Agaty Nykazy.

Praca doktorska mgr inż. Agaty Nykazy zawiera 108 strony maszynopisu, składa się z 9 rozdziałów, wykazu literatury, załącznika, 98 rysunków zawartych w tekście, 26 tabel, wykazu ważniejszych oznaczeń oraz streszczenia w języku polskim i angielskim.

Wykaz literatury wskazuje na dobrze przeprowadzoną przez Autorkę analizę stanu wiedzy w zakresie podjętej tematyki rozprawy.

W rozdziale pierwszym rozprawy (Wstęp) Autorka wskazuje, że bardzo ważnym elementem rozwoju techniki lotniczej jest konieczność minimalizacji negatywnego wpływu na otaczające nas środowisko. Transport lotniczy jest dynamicznie rozwijającą się dziedziną techniki, modyfikuje się istniejące już

płatowce, a także wprowadza się do produkcji całkowicie nowe konstrukcje w tym nowe rozwiązania lotniczych zespołów napędowych. W związku z tym producenci silników stosują rozwiązania techniczne ograniczające emisję szkodliwych związków spalin na środowisko naturalne. Główną gałęzią transportu jest transport drogowy, choćby ze względu na liczbę użytkowanych pojazdów, ale bardzo rozwijającą się dziedziną transportu jest także lotnictwo, które podczas swojego ponad stuletniego istnienia, zmieniało i nadal się zmienia. Należy podjąć działania mające na celu ograniczenie emisji szkodliwych składników spalin silników lotniczych zarówno tłokowych jak i turbinowych.

Wprowadzenia przepisów regulujących emisję spalin dla lotniczych silników tłokowych stosowanych w samolotach akrobacyjnych pomogłoby w dokładnym oszacowaniu/zmniejszeniu istniejącego zagrożenia dla środowiska naturalnego. Obecnie możliwe jest wykonanie tylko testu stacjonarnego lotniczego zespołu napędowego samolotu akrobacyjnego, wynika to z dopuszczalnej masy startowej samolotu (zwłaszcza sportowego – akrobacyjnego) oraz wymaganego miejsca w kabinie (braku miejsca w kabinie). Dodatkowo wykonanie lotu akrobacyjnego z aparaturą badawczą na pokładzie nie byłoby bezpieczne, ponieważ podczas akrobacji, na pilota i maszynę działają znaczne przeciążenia. Informacje o emisji byłyby niewątpliwie pomocne przy ograniczaniu wpływu spalin na zanieczyszczenie środowiska. W przyszłości mogłoby to umożliwić optymalizację pracy lotniczych silników tłokowych, a co za tym idzie ograniczenie emisji szkodliwych składników spalin. Podjęcie badań w tym zakresie wymaga również opracowania testu badawczego adekwatnego do warunków eksploatacji tłokowego zespołu napędowego.

W rozdziale drugim (Akrobacja lotnicza) Autorka wprowadza podstawowe definicje dotyczące akrobacji lotniczej takie jak samolot akrobacyjny, obciążenie płatowca w tym obciążenie dopuszczalne, akrobacja samolotowa i akrobacja szybowcowa. Rozdział zawiera wnikliwy przegląd konstrukcji samolotów akrobacyjnych budowanych w Polsce i na świecie.

W rozdziale trzecim (Emisja spalin w lotnictwie) Autorka omawia zagadnienie emisji spalin w lotnictwie. W rozdziale przedstawiono rozwój napędów lotniczych - śmigłowych oraz odrzutowych. W rozdziale omówiono powstawanie szkodliwych składników spalin silników tłokowych, założenia i działania podejmowane w zakresie ochrony środowiska, rozwój przepisów dotyczących badań lotniczych silników tłokowych w tym cykl LTO. Rozdział stanowi wnikliwy przegląd literatury w zakresie tematyki rozprawy doktorskiej.

Rozdział czwarty (Cel i zakres pracy) zawiera omówienie celu, zakresu pracy oraz planu badań. Jak podaje Autorka praca dotyczy oceny emisji spalin lotniczych silników tłokowych samolotów

sportowych podczas lotów akrobacyjnych. Badania przeprowadzone były na tłokowych silnikach lotniczych: Lycoming AEIO-580 B1A oraz Lycoming-540 L1B5D. Celem pracy jest analiza oddziaływania samolotów akrobacyjnych na środowisko, opracowanie testu/testów badawczych, a także wyznaczenie dalszych kierunków badań. Analiza procedur emisji pochodzenia lotniczego wykazuje braki w zakresie małych statków powietrznych, co tłumaczy się faktem, że użytkowanie samolotów lekkich nie jest tak powszechne, jak samolotów liniowych. Postawiony cel, zakres pracy nie budzą wątpliwości.

Rozdział piąty (Metodyka realizacji celu pracy) to przedstawienie metodyki realizacji pracy. Prowadzenie pomiarów emisyjnych dotyczących samolotów możliwe jest jedynie w warunkach naziemnych. Wszystkie prace przedstawione w rozdziale 3 dotyczą właśnie takiego rozwiązania. Przejście z badań w locie na badania stacjonarne podyktowane jest możliwościami technicznymi takich prac oraz dodatkowo: bezpieczeństwem lotu, brakiem miejsca w kabinie pilota samolotu akrobacyjnego, brakiem niezbędnego zasilania urządzeń pomiarowych, przepisami lotniczymi – każde urządzenie musi mieć dopuszczenie do lotu. Z powyższych aspektów wynika konieczność wykonania symulacyjnych warunków pracy silnika w locie akrobacyjnym w postaci prac naziemnych podczas opracowania autorskiego testu badawczego. Z tego względu prace badawcze podzielono na część wykonywaną podczas lotu oraz część prac stacjonarnych. W rozdziale opisano obiekty badań: samolot Zlin50LS w tym zespół napędowy - lotniczy silnik tłokowy typu Lycoming AEIO-540 L1B5D o mocy 222 kW, sześciocylinndrowy, czterosuwowy bokser chłodzony powietrzem oraz samolot Extra 330LC w tym zespół napędowy - sześciocylinndrowy, czterosuwowy, bokser chłodzony powietrzem silnik firmy Lycoming AEIO-580-B1A o mocy 243 kW. W rozdziale omówiono aparaturę badawczą analizator SEMTECH DS firmy Sensors z grupy PEMS (Portable Emissions Measurement System).

W rozdziale szóstym (Warunki prowadzenia akrobacji) przedstawiony został autorski układ akrobacyjny. Układ akrobacyjny jest to zbiór kolejno ułożonych figur akrobacyjnych, które pilot wykonuje podczas jednego lotu.

W rozdziale siódmym (Opracowanie testu badawczego) scharakteryzowano test badawczy. Opracowanie testu badawczego oparto na założeniach uwzględniających dane i zmienne mogące mieć wpływ na poprawność badań. Badaniom poddano dwa typy statków powietrznych. Pierwszy z nich to samolotu starszego typu – Zlin 50LS, a drugi nowej generacji – Extra 330LC. Obiekty badawcze wyposażono w autorskie układy pokładowych rejestratorów parametrów lotu. Każdy z samolotów wykonał 10 lotów akrobacyjnych. Zestaw figur akrobacyjnych opracowano w taki sposób, aby zawrzeć figury najczęściej wykonywane podczas treningów i zawodów akrobacyjnych.

oraz w aspekcie najlepszej oceny przez sędziów. Założeniem głównym było przeprowadzenie lotów oraz przeprowadzenie prób przedlotowych z parametrami otrzymanymi podczas rzeczywistej eksploatacji, które w konsekwencji doprowadzi do opracowania testów badawczych dla samolotów akrobacyjnych.

Rozdział ósmy (Ocena emisji spalin samolotów) to ocena i analiza emisji spalin samolotów uzyskanych podczas opracowanego autorskiego testu badawczego. W badaniach emisji szkodliwych związków spalin uwzględniono:

- pomiary emisji spalin podczas, tzw. „zimnego rozruchu”,
- pomiary emisji spalin podczas próby przedlotowej zgodnie z instrukcją użytkownika w locie danego samolotu,
- pomiary emisji spalin podczas przelotu przyjętego układu akrobacyjnego, pomiar przeprowadzony na ziemi w oparciu o zarejestrowane parametry pracy silnika i płatowca podczas lotu akrobacyjnego.

Rozdział dziewiąty (Podsumowanie i wnioski) zawiera podsumowanie i wnioski. Na podstawie przeprowadzonych badań i ich analiz określono następujące wnioski ogólne:

1. Wykorzystując możliwości sprzętu lotniczego, zrealizowano badania w rzeczywistych warunkach eksploatacji, tj. próby przedlotowe oraz loty akrobacyjne (badawcze).
2. Odwzorowano pracę silnika spalinowego podczas lotów akrobatycznych w warunkach stacjonarnych.
3. Oszacowano emisję szkodliwych związków spalin samolotów sportowych podczas lotów akrobacyjnych.
4. Opracowano test badawczy do oceny emisji spalin samolotów akrobacyjnych napędzanych silnikami tłokowymi.

Prowadzenie pomiarów emisji spalin dotyczących samolotów sportowych - akrobacyjnych możliwe jest jedynie w warunkach naziemnych. Wszystkie prace przedstawione w rozdziale 3, w którym dokonano wnikliwego przeglądu literatury w zakresie tematyki rozprawy doktorskiej dotyczą właśnie takiego rozwiązania. Przejście z badań w locie na badania stacjonarne podyktowane jest możliwościami technicznymi takich prac oraz dodatkowo bezpieczeństwem lotu. Z powyższych aspektów wynika konieczność zadania/odtworzenia warunków pracy silnika w locie akrobacyjnym na ziemi podczas realizacji („przelotu”) opracowanego autorskiego testu badawczego. Z tego względu prace badawcze podzielono na część wykonywaną pod czas lotu oraz część prac stacjonarnych.

Pozostałe czynności dotyczące analiz badań wstępnych nie zostały uwzględnione w rozprawie. Analiza rozprawy wskazuje na znaczny stopień komplikacji całego planu badawczego.

Pracę oceniam bardzo dobrze. Na szczególne uznanie zasługuje opracowanie autorskiego testu badawczego samolotu akrobacyjnego, zakres przeprowadzonych badań w locie, wykonanie układu rejestrującego parametry pracy silnika i parametry lotu płatowca. Praca jest dobrze zredagowana, ilustracje, wykresy i tabele bardzo dobrze korespondują z tekstem. Wyniki badań przedstawiono graficznie w bardzo rzetelny sposób i omówiono w tekście rozprawy. Całość napisana jest poprawnym językiem technicznym. Należy zaznaczyć, że podjęta przez Doktorantkę tematyka stanowi bardzo aktualny problem w rozwoju napędów lotniczych opartych o tłokowe silniki spalinowe o zapłonie iskrowym zwłaszcza, że ich konstrukcje muszą spełniać coraz to wyższe wymagania. Ponadto praca daje cenne informacje służbie legislacyjnej lotnictwa sportowego jak i konstruktorom oraz użytkownikom lotniczych silników tłokowych w zakresie emisji składników spalin podczas ich eksploatacji. Na podstawie całościowej analizy pracy można także stwierdzić, że sposób przeprowadzonych badań, opracowany test badawczy, zakres analiz mógłby być wykorzystany dla innych rodzajów napędów lotniczych, co powoduje że praca ma charakter uniwersalny, rozwojowy.

Proponuje się następujące dalsze prace w tym zakresie:

1. Opracowanie rejestratora parametrów lotu samolotów sportowych. Analiza danych dotyczących położenia przepustnicy oraz prędkości obrotowej silnika pozwala na przygotowanie testu stacjonarnego każdego typu samolotu akrobacyjnego/sportowego.
2. Minimalizacja gabarytów i masy aparatury pomiarowej umożliwiłaby w przyszłości prowadzenie pomiarów związanych z emisją spalin samolotów sportowych podczas lotu.
3. Ogólny test emisji spalin samolotów akrobacyjnych może w przyszłości umożliwić kontrolę emisji związków szkodliwych spalin podczas wykonania lotów akrobacyjnych.
4. Kontrola emisji spalin silnika w warunkach stacjonarnych może zwiększyć sprawność lotniczych zespołów napędowych przez optymalizację warunków pracy silnika spalinowego w warunkach nieustalonych.
5. Badane samoloty cechuje ręczny dobór mieszanki paliwowo-powietrznej, realizowany przez pilota, co jest rozwiązaniem przestarzałym i w celu zmniejszenia emisji związków szkodliwych spalin, należałoby zastosować układ automatycznej regulacji składu mieszanki paliwowo-powietrznej. Wraz

z zastosowaniem doładowania, teoretycznie możliwa byłaby praca silników na mieszaninie stechiometrycznej, co pozwalałoby zastosować trójfunkcyjny reaktor katalityczny, znacząco ograniczający emisję tlenu węgla, węglowodorów i tlenków azotu.

Po zapoznaniu się z rozprawą nasuwają się następujące spostrzeżenia.

1. Dlaczego w pracy nie przedstawiono najnowszych rozwiązań silników samolotów akrobacyjnych i informacji o zawartości szkodliwych składników spalin?
2. Czy analiza zawartości szkodliwych składników spalin samolotu (nie tylko akrobacyjnego) przeprowadzonych na ziemi może być porównywana z emisją w locie? Jakie czynniki powodują duże podobieństwo, a jakie wpływają na odmienny poziom emisji?
3. Czy w rozdziale 8 (Ocena emisji spalin samolotów) zimny rozruch trwa 250 s (rys. 8.3-8.8)? Czy te czynności przed startem samolotu nie powinny być nazwane jako „zimny rozruch i nagrzewanie silnika”?
4. Zespół napędowy samolotu akrobacyjnego pracuje w stanie nieustalonym. Czy istotnie celowe byłoby stosowanie układu zasilania: wtrysk paliwa - sonda lambda - trójfunkcyjny reaktor katalityczny aby ograniczyć emisję szkodliwych składników spalin silnika samolotu sportowego?
5. **Praca zawiera szereg autorskich rozwiązań w zakresie badań lotniczych zespołów napędowych wynikających z doświadczenia Autorki rozprawy, Pani mgr inż. Agaty Nykazy jako pilota akrobacyjnego. To wartość recenzowanej pracy.** Jako obszar dalszych badań proponuję walidację opracowanej metody pomiaru emisji składników spalin samolotu sportowego poprzez rozwinięcie badań emisji składników spalin samolotu PZL-104 Wilga. Uważam za celowe opracowanie autorskiego testu badawczego samolotu sportowego i weryfikację badań uzyskanych w locie (analyzer w kabinie samolotu) w odniesieniu do wyników badań przeprowadzonych na ziemi, obiektem badań mógłby być samolot turystyczny Cessna 172 Skyhawk.

ODSUMOWANIE

Rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Nykazy jest wartościowym i aktualnym opracowaniem o charakterze badawczo-naukowym i użytkowym, która wnosi istotne treści poznawcze i wskazuje nowe kierunki rozwoju i doskonalenia konstrukcji, technologii budowy i eksploatacji tłokowych silników spalinowych, zwłaszcza napędów lotniczych.

Ocena emisji spalin samolotów jest zagadnieniem skomplikowanym ze względu na metodykę pomiaru składników szkodliwych spalin. Metodyka ich pomiaru w samolotach lekkich – przedstawionych w pracy – jest możliwa jedynie na podstawie analiz pośrednich. Wynika to z jednej strony ze specyfiki takich środków transportu, z drugiej – z przepisów lotniczych. Mimo powyższych ograniczeń, możliwa była – zgodnie z tytułem pracy – ocena emisji szkodliwych związków spalin podczas lotów samolotów akrobacyjnych – zatem zrealizowano cel pracy.

Rozprawa doktorska mgr inż. Agaty Nykazy *Ocena emisji szkodliwych związków spalin podczas lotów samolotów akrobacyjnych* mieści się w dyscyplinie Inżynieria Lądowa i Transport.

Mgr inż. Agata Nykaza wykazała się umiejętnością samodzielnego formułowania i rozwiązywania zadań naukowych na poziomie prac doktorskich i reprezentuje wysoki poziom wiedzy w dziedzinie tematyki rozprawy.

Stwierdzam, że przedstawiona przez Panią mgr inż. Agatę Nykazę rozprawa doktorska spełnia wymagania stawiane przez ustawę o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki z dnia 14 marca 2003 roku w zakresie rozpraw doktorskich i stawiam wniosek o dopuszczenie Autorki do publicznej obrony.

Jacek Nowakowski