

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr. inż. Adama ANTCZAKA
pt.: „OPTYMALIZACJA POŁOŻENIA SAMOLOTÓW PODCZAS
LOTU W FORMACJI”

wykonanej
na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej
pod kierownictwem
prof. dr. hab. inż. Krzysztofa SIBILSKIEGO

1. PODSTAWA WYKONANIA RECENZJI

Recenzję opracowano na podstawie pisma Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna nr RNDIM/521/17/2021 z dnia 20.10.2021r. z załączoną rozprawą doktorską mgr. inż. Adama ANTCZAKA pt. „Optymalizacja położenia samolotów podczas lotu w formacji”. Promotorem rozprawy jest prof. dr hab. inż. Krzysztof SIBILSKI, a promotorem pomocniczym dr inż. Maciej LASEK.

2. TREŚĆ I ZAKRES PRACY

Przedstawiona do oceny rozprawa doktorska zawiera 100 stron. Składa się ze spisu rysunków, spisu tabel, listy symboli, streszczenia, ośmiu ponumerowanych rozdziałów oraz bibliografii.

W niniejszej rozprawie Doktorant podjął się badań nad zagadnieniami dotyczącymi lotów samolotów pasażerskich w formacji lotniczej. Autor skupił się nad badaniem możliwości zastosowania lotów w formacji w codziennych operacjach lotniczych, określeniem optymalnego położenia statku powietrznego względem siebie oraz sprawdzeniem wpływu oddziaływania samolotu lidera na skrzydłowego.

W rozdziale pierwszym zatytułowanym „Wstęp”, Doktorant zwrócił uwagę na poszukiwanie przez linie lotnicze nowych form oszczędności w zakresie operacyjnym polegającym na ograniczeniu wydatków przez przewoźników lotniczych.

Na tej podstawie w rozdziale drugim pt. „Cele i teza rozprawy”, określony został cel pracy doktorskiej, którym jest „Sprawdzenie z perspektywy naukowej możliwości i opłacalności lotów w formacji w codziennych operacjach lotniczych PLL LOT”.

Stąd użyteczny cel pracy przedstawiony został w postaci celów cząstkowych takich jak:

1. Wyznaczenie odpowiedniej wartości separacji podłużnej pomiędzy samolotami z zachowaniem jak największego poziomu bezpieczeństwa wykonywanego lotu oraz optymalizacja położenia osi pionowej oraz poziomej w celu otrzymania największej redukcji wartości spalonego paliwa;
2. Dla wyznaczenia separacji, obliczenie obciążeń aerodynamicznych powstających na samolocie skrzydłowym i weryfikacja metody pasowej jako algorytmu możliwego do zastosowania w samolotach pasażerskich;
3. Określenie wymagań operacyjnych, które muszą zostać spełnione, by móc wykonać lot w formacji;
4. Analiza aktualnego procesu planowania lotów i wskazanie jego zmiany tak, aby móc zaplanować lot w formacji. Sprawdzenie możliwości zaplanowania lotu w formacji przy pomocy aktualnych dostępnych narzędzi;
5. Analiza siatki i wyznaczenie potencjalnych oszczędności, które byłyby możliwe do uzyskania przy pomocy lotów w formacji w codziennych operacjach lotniczych.

W wyniku sformułowanych celów Doktorant założył wykazanie prawdziwości następującej tezy pracy tj. „Loty w formacji mogą stać się powszechnym typem codziennych operacji w lotnictwie pasażerskim umożliwiającym uzyskanie oszczędności w zakresie kosztów paliwa”.

W trzecim rozdziale zatytułowanym „Lot w formacji”, zaprezentowano stan współczesnej wiedzy dotyczącej lotów w formacji. Przedstawiono prowadzone badania nad zachowaniem ptaków i wpływem lotu w formacji na parametry fizyczne skrzydłowego. Przedstawiono również zastosowanie lotów w formacji w lotnictwie wojskowym oraz wybrane patenty dotyczące tego zagadnienia. Przywołane zostały niektóre badania prowadzące do możliwości wdrożenia lotów w formacji w codziennych operacjach lotniczych oraz analizę zastosowania takich rozwiązań.

W wyniku analiz stwierdzono, że przeprowadzone symulacje lotu samolotu Airbus A 380-800 jako lider i samolotu Boeinga 747-400 jako skrzydłowy, startujących i lądujących z różnych lotnisk w których połączenie nastąpiłoby nad Oceanem a rozłączenie przed lądem,

zysk na paliwie wynosiłby ponad 6 %. Inny przypadek to przelot dwóch samolotów Boeing 777 w locie formacyjnym, przy zachowaniu separacji podłużnej 4000 stóp oraz prędkości przelotowej w którym uzyskano 5 % oszczędność na paliwie. Z kolei w locie dwóch samolotów transportowych C-17 przy separacji podłużnej 20 rozpiętości skrzydeł oraz zerowej odległości w osi poprzecznej i pionowej uzyskano oszczędności na paliwie około 5 %. Innym przykładem może być projekt zrealizowany przez amerykańską agencję rządową rozwoju technologii wojskowej DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency), w ramach którego wykonane zostały loty w formacji samolotów wojskowych Boeing C-17. W trakcie lotów przeprowadzono pomiary oszczędności paliwowych oraz turbulencji a także przeprowadzono prace w kierunku opracowania modelu wiru.

W części czwartej rozdziału pt. „Cyrkulacja i jej wpływ na samolot skrzydłowy”, zaprezentowano model matematyczny dla obliczeń optymalnego położenia w osi pionowej i poziomej samolotów względem siebie w celu otrzymania największej możliwej do uzyskania redukcji ciągu samolotu lidera.

Na podstawie przeanalizowanej literatury, badań w locie oraz opisanego zachowania wiru określono odpowiednią separację podłużną pomiędzy samolotami. Do obliczeń Doktorant przyjął wartości parametrów dla samolotu Boeing 767. Na podstawie otrzymanych równań zostały wykonane obliczenia dla lotu samolotu Boeing 767 na wysokości przelotowej. Środek układu współrzędnych został przyjęty w środku płata. W analizie przyjęta została stała wartość prędkości indukowanej na całej rozpiętości skrzydła. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch różnych odległości od lidera wzdłuż osi podłużnej x ($x=2b$ -dwóch rozpiętości skrzydła i $x=1300$ m na szerokości w zakresie od -50 m do +50 m). Funkcją podlegającą minimalizacji jest wartość niezbędnego ciągu do lotu.

Z przeprowadzonej optymalizacji wynika, że optymalnym położeniem na osi pionowej i poprzecznej jest zerowa separacja. Wpływ wiru najmocniejszy jest w jego osi. Każde oddalenie od centrum powoduje zmniejszenie powstałych prędkości indukowanych. Z obliczeń uzyskano, że dla separacji podłużnej dwóch rozpiętości skrzydeł oszczędność ciągu silnika wynosi 8,5 %, natomiast dla separacji równej 1300 m wynosi 3,2 %.

Tematem piątego rozdziału są „Obciążenia aerodynamiczne”. Do wyznaczenia obciążeń aerodynamicznych powstających na samolocie skrzydłowym została wykorzystana metoda pasowa, uwzględniająca prędkość indukowaną generowaną przez wir. Do obliczeń Doktorant przyjął analogiczne wielkości oraz założenia tak jak w rozdziale czwartym, dla samolotu Boeing 767 tj. lot poziomy na wysokości przelotowej, odległość podłużną samolotów w formacji równą 1300 m oraz zerową separację poziomą i pionową samolotów w formacji.

Wykorzystanie metody pasowej umożliwiło wyznaczenie obciążeń aerodynamicznych na samolocie skrzydłowym powstałych w wyniku lotu w wirze generowanym przez samolot lidera. Otrzymane wartości obciążeń aerodynamicznych na samolocie skrzydłowym powstających w wyniku działania prędkości kątowej oraz prędkości indukowanej zostały porównane z obciążeniami działającymi w locie poziomym. Wyznaczone wartości obciążeń pozwalają stwierdzić, że zaburzenia powstałe w wyniku lotu w formacji nie wpływają negatywnie na samolot skrzydłowy.

W rozdziale szóstym pracy pt. „Linie lotnicze”, zawarto definicje linii lotniczych, podział przewoźników lotniczych na kategorie wykonujących rejsy pasażerskie i rejsy cargo oraz podział ze względu na model biznesowy.

Doktorant przedstawił:

- podstawy prawne zezwalające na przeprowadzenie lotów w formacji w lotnictwie pasażerskim,
- proces certyfikacji personelu planującego loty u operatorów lotniczych,
- wytyczne dotyczące zapewnienia bezpieczeństwa w operacjach lotniczych,
- planowanie lotów,
- zasady poszukiwania metod zmniejszenia zużycia paliwa.

Rozdział siódmy to „Analiza wdrożenia”. Doktorant w celu wyznaczenia potencjalnych oszczędności, wynikających z lotów w formacji, przeprowadził analizę rejsów wybranych połączeń transatlantyckich wykonanych w 2019 roku przez samoloty PLL LOT. Przedstawiony został proces planowania lotów transatlantyckich wykonywanych przez dyspozytora lotniczego. Cały proces planowania podzielono na siedem podprocesów:

- podproces weryfikacji poprawności danych,
- podproces utworzenia optymalnej trasy,
- podproces walidacji trasy,
- podproces weryfikacji i ewentualnej korekty trasy,
- podproces procedur lotniskowych,
- podproces wprowadzenia ostatnich zmiennych,
- podproces przygotowania i rozesłania dokumentacji.

W rozdziale przedstawiono założenia lotu w formacji, którego niezbędnym warunkiem jest:

- spotkanie się dwóch lub więcej samolotów w tym samym punkcie i czasie;
- samoloty w miejscu połączenia muszą mieć taką samą wysokość lotu oraz prędkość;

- plany lotów samolotów muszą pokrywać się ze sobą na odcinku nad Atlantykiem.

Przyjęto również, że dla lotów transatlantyckich wybranymi punktami połączenia i rozłączenia są skrajne punkty obszaru atlantyckiego najczęściej wykorzystywane do tworzenia połączeń z Polski do Ameryki Północnej.

Założenia lotu w formacji związane z zachowaniem bezpieczeństwa operacyjnego obejmują:

- ten sam podtyp samolotu,
- brak usterek mogących wpłynąć na lot w formacji,
- liderem staje się pierwszy startujący samolot,
- masa paliwa jak dla lotu pojedynczego samolotu,
- różne plany samolotów.

Doktorant przeprowadził symulacje procesu planowania lotu w formacji wykorzystując rejsy z jesiennego rozkładu lotów w 2020 roku, w Polskich Liniach Lotniczych LOT, na trasie Warszawa – Chicago oraz Warszawa – Toronto. Powyższe połączenia zostały wybrane ze względu na różnicę pięciu minut w godzinie startu oraz wykonywanie przelotu nad Atlantykiem w zbliżonych korytarzach powietrznych.

Do analizy wykorzystano dane samolotów Boeing 787. Analizę przeprowadzono dla pary samolotów o minimalnej operacyjnej masie własnej i maksymalnej masie startowej z uwzględnieniem weryfikacji parametrów trasy i czasu lotu w formacji. Przyjmując 5 % oszczędności paliwa samolotu skrzydłowego w ramach lotu w formacji, w wyniku symulacji otrzymano wartości redukcji paliwa o 878 kg dla samolotu lekkiego przy czasie trwania lotu w formacji 6 godzin 1 minuta oraz dla samolotu ciężkiego 952 kg, dla czasu lotu w formacji 6 godzin i 2 minuty. Dla średniej ceny paliwa w marcu 2021 roku wyznaczone oszczędności paliwa wynoszą 494 \$ dla samolotu lekkiego oraz 542 \$ dla samolotu ciężkiego.

Doktorant dokonał analizy ośmiu par połączeń transatlantyckich przeprowadzonych w 2019 roku z uwzględnieniem podziału na ten sam typ samolotu i różny typ samolotu oraz różnicę w czasie startu: do 10 minut, pomiędzy 10 a 20 minut i powyżej 20 minut. Przyjęto z wcześniejszych obliczeń, że oszczędność na jednym locie wynosi około 500 \$.

Z analizy wynika, że przy zachowaniu najostrzejszych wymagań tj. różnicy w czasie startu do 10 minut oraz tym samym podtypie samolotu otrzymano sumaryczną oszczędność paliwa rzędu 60 500 \$ w skali roku. Natomiast zakładając możliwość wykorzystania różnych podtypów samolotów oraz uwzględniając różnicę w czasie startu rzędu 10 – 20 minut, sumaryczna oszczędność paliwa wynosi 216 500 \$ w skali roku.

W rozdziale ósmym przedstawiono „Podsumowanie rozprawy” oraz perspektywy dalszych badań.

3. OCENA MERYTORYCZNA PRACY

Temat rozprawy doktorskiej podjęty i opracowany przez mgr. inż. Adama ANTCZAKA, uważam za dysertabilny i niezwykle istotny pod względem naukowym i użytecznym.

W pracy została przeprowadzona analiza możliwości zastosowania lotów w formacji w codziennych lotach w celu poszukiwania oszczędności w działalności operacyjnej linii lotniczych. Wymagało to podjęcia przez Doktoranta badań w zakresie lotów w formacji oraz sformułowania celów pracy i tezy rozprawy doktorskiej.

Przedstawione przez Doktoranta cele pracy dotyczyły określenia optymalnego położenia samolotów względem siebie i opracowania wymagań operacyjnych, które posłużyły do wyznaczenia potencjalnych oszczędności paliwowych.

Doktorant na podstawie badań zachowania się wiru powstającego w wyniku lotu samolotu lidera, dokonał wyznaczenia odpowiedniej separacji lotu samolotów w formacji poprzez optymalizację redukcji wartości niezbędnego ciągu do lotu poziomego. W wyniku badań otrzymana została wartość 3,2 % oszczędności dla separacji podłużnej 1300 m, przy zachowaniu zerowej odległości w osi pionowej i poprzecznej.

Doktorant wykorzystując metodę pasową stwierdził, że w wyniku lotu samolotu skrzydłowego w wirze generowanym przez samolot lidera, obliczone wartości obciążeń aerodynamicznych są niewielkie w stosunku do obciążeń powstałych w locie poziomym.

Doktorant na podstawie procesu planowania lotów w linii lotniczej oraz realizacji działań przez dyspozytorów lotniczych, opracował wymagania operacyjne na bazie których przeprowadził symulacje lotów w formacji, w wyniku których uzyskał oszczędność kosztów lotu (paliwa) na poziomie 500 \$.

Wykorzystując bazę lotów Polskich Linii Lotniczych LOT z 2019 roku, Doktorant przeprowadził analizę lotów w formacji samolotów Boeing 787 nad Atlantykiem. Weryfikacji poddanych zostało osiem par połączeń z których start odbywał się z Warszawy. Przyjmując stałą wartość oszczędności dla jednego lotu, przy starcie samolotów o tym samym podtypie w odstępie czasu nie dłuższym niż 10 minut, otrzymano oszczędności na paliwie rzędu 60 500 \$ w skali roku. Natomiast, przy zastosowaniu różnych podtypów samolotów oraz przedziału czasu 10 – 20 minut, oszczędność paliwa wynosi 216 500 \$ w skali roku.

Należy również podkreślić, że Doktorant posiada doświadczenie w realizacji badań dotyczących możliwości zastosowania lotów w formacji w codziennych operacjach samolotów cywilnych z racji udziału w międzynarodowym zespole amerykańskiej Narodowej Agencji Aeronautyki i Przestrzeni Kosmicznej (ang. National Advisory Committee for Aeronautics – NASA).

Wobec powyższego mogę stwierdzić, że Doktorant zrealizował wyznaczone przez siebie cele, a sformułowana w rozprawie doktorskiej teza pracy tj. „Loty w formacji mogą stać się powszechnym typem codziennych operacji w lotnictwie pasażerskim umożliwiającym uzyskanie oszczędności w zakresie kosztów paliwa”, została wykazana jako możliwa do zrealizowania.

4. UWAGI

Tekst dysertacji napisany jest w sposób zrozumiały i przejrzysty, ale można było bardziej rozbudować listę skrótów i oznaczeń oraz zachować jednoznaczność w sposobie oznaczeń i opisów niektórych parametrów.

W zakończeniu stwierdzam, że wniesione przeze mnie zastrzeżenia nie mają wpływu na moją pozytywną ocenę rozprawy jako całości.

5. WNIOSEK KOŃCOWY

Według mojej oceny, obecnie nie istnieją podobne rozwiązania w Polsce, natomiast na świecie tak jak Doktorant przedstawił, technologia ta dopiero zaczyna się rozwijać i w chwili obecnej stanowi głównie przedmiot analiz i badań.

Na wynikach pracy mogą skorzystać przede wszystkim Polskie Linie Lotnicze LOT, przy zaangażowaniu Polskiej Agencji Żeglugi Powietrznej, ale również konstruktorzy i producenci samolotów, jak i potencjalni użytkownicy (m.in. aerokluby, prywatni użytkownicy). Beneficjentami w pewnym stopniu będzie także społeczeństwo – ze względu na przyjazne dla środowiska rozwiązanie oraz mniejszą uciążliwość dla otoczenia (niższy poziom zużycia paliwa). Przypuszczam, że realizacja niniejszej pracy w praktyce zaowocuje w przyszłości utworzeniem nowych miejsc pracy.

Wyniki pracy mogą zostać wdrożone w przedsiębiorstwach branży lotniczej. Realizacja wyników pracy (projektu) stworzy realne podstawy dla zaistnienia firm lotniczych oferujących nowatorski produkt, a przy okazji będzie impulsem dla rozwoju i generowania nowych rozwiązań w branży lotniczej.

Na podstawie przeprowadzonej analizy i badań można stwierdzić, że szanse zrealizowania wytyczonych celów są realne oraz opierają się na poprawnych metodach i założeniach badawczych.

W podsumowaniu swojej recenzji stwierdzam, że rozprawa stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego dotyczącego optymalizacji położenia samolotów podczas lotu w formacji.

Uważam, że mgr inż. Adam ANTCZAK rozwiązał w rozprawie doktorskiej postawione cele pracy, a tym samym tezę pracy. Doktorant posiada dobrą znajomość mechaniki, dynamiki lotu, matematyki stosowanej oraz współczesnych technik obliczeń numerycznych. Doktorant wykazał umiejętność samodzielnej pracy naukowo-badawczej i kierowania badaniami naukowymi.

Biorąc pod uwagę wartości poznawcze i użytkowe uzyskanych rezultatów, dojrzałość merytoryczną mgr. inż. Adama ANTCZAKA w zakresie optymalizacji położenia samolotów podczas lotu w formacji, recenzowaną rozprawę oceniam jako bardzo dobrą, spełniającą ustawowe wymagania stawiane rozprawom i stawiam wniosek o wyróżnienie pracy.

Przedstawiam Szanownej Radzie Dyscypliny Naukowej Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej, wniosek o przyjęcie rozprawy jako podstawy do nadania stopnia naukowego doktora nauk technicznych i dopuszczenie mgr. inż. Adama ANTCZAKA do publicznej obrony przedłożonej rozprawy doktorskiej.

