

Wrocław 30.11.2024

Dr hab. inż. Maciej Zawisłak prof. Uczelni
Politechnika Wrocławska
Wydział Mechaniczny
Katedra Inżynierii Pojazdów

Recenzja

rozprawy doktorskiej magistra inżyniera Adama Rojewskiego

„Badanie efektu przypowierzchniowego na przykładzie ekranoplanu z wykorzystaniem metod numerycznych”

Podstawą recenzji jest pismo Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej numer RD/d/555/02/2024 z dnia 29.10.2024, podpisane przez Przewodniczącego Rady Dyscypliny Pana prof. dr hab. inż. Jacka Pielechę.

Recenzja opracowana na podstawie przekazanych dokumentów: Autoreferatu, w którym wskazano jako osiągnięcie naukowe 5 publikacji oraz monografię Rojewski A. i Bartoszewicz J. „Zjawisko efektu przypowierzchniowego w lotnictwie” wydawnictwo Politechniki Poznańskiej 2018.

Ogólna charakterystyka

Pan magister inżynier Adam Rojewski w 2015 roku uzyskał tytuł zawodowy inżyniera na podstawie pracy: „Analiza numeryczna wpływu efektu przypowierzchniowego na siłę nośną profilu lotniczego NACA 0015”, w roku 2016 tytuł zawodowy magistra inżyniera na podstawie pracy: „Ekranoplan – wstęp do projektu płatowca” oraz w roku 2024 złożył do oceny pracę doktorską na podstawie pięciu publikacji i jednej monografii pod wspólnym tytułem: „Badania efektu przypowierzchniowego na przykładzie ekranoplanu z wykorzystaniem metod numerycznych”. Pokazuje to, że doktorant związał swoją karierę naukową z trudną dziedziną jaką jest numeryczna mechanika płynów – aerodynamika. Obliczenia numeryczne przepływu powietrza z wysokimi prędkościami wymagają sporego doświadczenia numerycznego i umiejętności naukowych, co prezentuje Pan mgr inż. Adam Rojewski w przedstawionej do oceny pracy doktorskiej.

Autor postawił tezę pracy naukowej: *Skierowanie gazów wylotowych turbinowego silnika odrzutowego pod skrzydło samolotu typu ekranoplan pozwala w znaczący sposób podnieść siłę nośną płatowca w trakcie nabierania prędkości startowej w celu skrócenia drogi startowej i zmniejszenia energochłonności płatowca.*

Szczegółowy zakres przedstawionej do recenzji pracy doktorskiej zawiera:

1. Pełną klasyfikację ekranoplanów jako środków transportu stanowiących kompromis między transportem morskim i lotniczym.
2. Wpływ efektu przypowierzchniowego na bezpieczeństwo ludzi i towarów.
3. Szczegółowe charakterystyki aerodynamiczne profili dla płatowca korzystającego z efektu przypowierzchniowego.
4. Analizę porównawczą aerodynamiki samolotów tradycyjnych i ekranoplanów.
5. Dobór odpowiedniego profilu lotniczego do ekranoplanów jakim jest profil NACA M8.
6. Analizę wpływu klap na końcach profili nośnych oraz płyt bocznych skrzydeł na charakterystyki aerodynamiczne płatowca przy działaniu efektu przypowierzchniowego.
7. Analizę wpływu gazów wylotowych z turbinowego silnika odrzutowego na siłę nośną płatowca i wpływ na jego energochłonność.
8. Określenie metodyki badań symulacyjnych wraz z opisem tworzenia siatek numerycznych.
9. Określenie kierunku dalszych badań.

Wszystkie przedstawione zagadnienia zostały zaprezentowane i szczegółowo wyjaśnione w pracy doktorskiej.

Merytoryczna charakterystyka pracy

Praca doktorska przedstawia cykl logicznie ułożonych publikacji ściśle związanych z tematem rozprawy.

1. *Numerical analysis of influence of the wing in ground effect on aircraft lift coefficient and on car downforce coefficient.* W pracy tej autor przeprowadził proces symulacji numerycznej opływu profilu NACA 0015 i przedstawił wyniki obliczeń, czyli współczynniki siły nośnej i siły oporu dla przepływu swobodnego oraz z uwzględnieniem efektu przypowierzchniowego. Autor skupił się też nad przedstawieniem mechanizmu powstawania efektu przypowierzchniowego i zjawisk mu towarzyszących.
2. *Airfoil selection for wing in ground effect craft.* W pracy tej przedstawiono sposób wyboru profilu NACA M8 jako profilu spełniającego postawione założenia czyli uzyskanie maksymalnej siły nośnej przy minimalnej sile oporu przy przepływie z zachowaniem efektu przypowierzchniowego. Autor przeprowadził symulacje numeryczne dziesięciu wybranych profili nośnych. Na podstawie wyznaczonych wartości siły nośnej i siły oporu wybrał do dalszych analiz profil NACA M8, dla którego przeprowadził pełną symulację opływu dla kątów natarcia w zakresie -5° do 15° . Symulacje prowadzone były dla opływu swobodnego oraz dla opływu z uwzględnieniem efektu przypowierzchniowego. W artykule przedstawiono warunki brzegowe oraz sposób prowadzenia symulacji numerycznych. Przedstawiono też dodatkowo fizykę przeciągnięcia skrzydła w locie przypowierzchniowym oraz opisano, dlaczego takie przeciągnięcie występuje tylko przy wzroście współczynnika oporu bez

spadku współczynnika siły nośnej. Przedstawiono środki bezpieczeństwa podczas lądowania statku powietrznego wykorzystującego efekt przypowierzchniowy.

3. *Usage of wing in ground effect to maintain lift force with reduced fuel consumption of aircraft.* Głównym celem pracy było określenie zużycia paliwa w przypadku lotu z wykorzystaniem efektu przypowierzchniowego dla profilu NACA M8. Przeprowadzono symulacje dla lotu swobodnego, lotu z efektem przypowierzchniowym oraz lotu z efektem przypowierzchniowym z uwzględnieniem gazów spalinowych pochodzących z silnika i ukierunkowanych nad i pod skrzydło. Wyznaczono i porównano ze sobą wartości siły oporu i siły nośnej oraz na tej podstawie wyznaczono przewidywane zużycie paliwa. Wykazano zmniejszenie zużycia paliwa dla lotu z efektem przypowierzchniowym, co wskazuje zmniejszenie energochłonności takiego statku powietrznego.
4. *Flaps influence on wing in ground effect lift coefficient.* W tej pracy głównym celem było sprawdzenie jaki wpływ na uzyskiwaną siłę nośną i siłę oporu dla profilu NACA M8 będzie miało zastosowanie dodatkowych klap. Przeprowadzono symulacje dla przepływu swobodnego, przepływu z uwzględnieniem efektu przypowierzchniowego oraz przepływu z uwzględnieniem efektu przypowierzchniowego z zastosowaniem klap ułożonych pod kątem 5° , 15° , 30° do skrzydła. Dla tych geometrii przeprowadzono symulacje dla trzech różnych kątów natarcia. Stwierdzono, że stosowanie klap zwiększa efektywność skrzydła w przypadku ruchu z efektem przypowierzchniowym poprzez wzrost współczynnika siły nośnej, lecz powoduje co jest zrozumiałe, zwiększenie współczynnika siły oporu. Klapy powodują zwiększenie ciśnienia bezwzględnego pod płatem co umożliwi wolniejszy lot lub skrócenie startu pojazdu lotniczego bez ryzyka przeciągnięcia.
5. *Zjawisko efektu przypowierzchniowego w lotnictwie – monografia.* W tej pozycji składającej się z 83 stron tekstu oraz 38 źródeł literaturowych przedstawiono szeroki opis zjawiska przepływu z efektem przypowierzchniowym. Opisano aerodynamikę efektu przypowierzchniowego, proces jego tworzenia i kształtowanie się współczynników aerodynamicznych. Przeprowadzono klasyfikację ekranoplanów, opisano rozwiązania konstrukcyjne stosowane w ekranoplanach, przedstawiono ekranoplany klasyczne, ekranoplany ciężkie wielosilnikowe, o zwiększonym wpływie działania dynamicznej poduszki powietrznej oraz na koniec rozdziału koncepcje ekranoplanów. W dalszej części przedstawiono podstawy teoretyczne w numerycznej mechanice płynów. Opisano analizy numeryczne przepływu i ścieżkę doboru profilu lotniczego do ekranoplanu NACA M8, wpływ działania klap na charakterystyki wybranego profilu NACA M8, wpływ działania slotów na charakterystyki wybranego profilu NACA M8, wpływ skierowania spalin na powierzchnię profilu na charakterystyki wybranego profilu NACA M8 i zaproponowano własną koncepcję ekranoplanu. Przeprowadzono podsumowanie i zaproponowano dalsze kierunki badań.
6. *Numerical investigation of endplates influence on the wing in ground effect lift force.* W tym artykule przedstawiono wyniki symulacji numerycznych przepływu z uwzględnieniem efektu przypowierzchniowego przy zastosowaniu płyt na końcach skrzydeł ekranoplanu. Wykazano słuszność takiego rozwiązania. Płyty na końcach skrzydeł zapewniają zwiększenie efektu przypowierzchniowego poprzez zmniejszenie

oporu indukowanego przez odsunięcie na zewnątrz skrzydła, wirów powietrza powstających na końcach skrzydeł, które powstają w wyniku różnicy ciśnień nad i pod skrzydłem.

Przedstawiony cykl publikacji jest prawidłowo ułożony. Mocną stroną tego zestawienia jest monografia. Wszystkie publikacje wchodzące w skład pracy doktorskiej są dwuautorskie, gdzie drugim autorem jest promotor dr hab. inż. Jarosław Bartoszewicz prof. PP, którego zadaniem był nadzór i sprawdzanie poprawności nad prowadzonymi symulacjami. Przedstawiona praca doktorska pokazuje dużą samodzielność pracy doktoranta oraz bardzo dobre przygotowanie merytoryczne oraz umiejętność prowadzenia poprawnych symulacji numerycznych przepływu dla trudnych obliczeniowo zjawisk przepływowych. Doktorant wykazuje duży potencjał naukowy i konstrukcyjny.

Pytania do dyskusji

1. Jak wyznaczana była grubość warstwy przyściennej, aby spełnić wartość y^+ , wg jakiej zależności?
2. Jak wybrano model turbulencji, czy prowadzono testy innych modeli turbulencji lub sposobów obliczeń np. metodą LES?
3. Autor podaje, że wartość y^+ powinna być w przedziale 100 do 300 (strona 17), natomiast dla modeli k-e powinno być 30 do 300, a niektóre źródła podają 30 do 100, skąd rozbieżność?
4. Jak szacowano błędy numeryczne i na jakim poziomie one są?
5. Czy przeprowadzono weryfikację gęstości siatki numerycznej i jej wpływu na wyniki symulacji?
6. Jak powstała koncepcja ekranoplanu, który był analizowany w pracy, jak wyglądał proces jego projektowania?
7. Czy rozważano przeprowadzenie badań doświadczalnych, a jeśli tak to jak przeliczana by była wartość oporu i siły nośnej z modelu na obiekt rzeczywisty, wg jakich liczb podobieństwa ewentualnie jakiej metody?
8. Dlaczego nie przedstawiono porównania wyników symulacyjnych z badaniami doświadczalnymi znanymi z literatury?
9. Dlaczego według doktoranta ekranopłaty nie są obecnie powszechnie stosowane do transportu?
10. Jakim sposobem można wyeliminować hałas poruszających się ekranoplanów?

W pracy dostrzeżono błędy i pomyłki takie jak:

1. Brak spisu oznaczeń stosowanych w pracy, dotyczy to wielkości fizycznych jak i skrótu: TSO.
2. Pomyłki literowe jak np.: strona 9, tabela, punkt 2: aorfoli powinno być airfoli, dalej ten sam tytuł in in powinno być wing in.
3. Brak akapitów od rozdziału: Osiągnięte wyniki prac – strona 14.
4. Odniesienie do nienumerowanego wzoru (3.1) – strona 17.
5. Niewyraźny opis na schemacie – rysunek 7 strona 18.

6. W części teoretycznej kończącej się na stronie 20 brak opisu stosowanych modeli turbulencji.
7. Odniesienie do nieistniejącego rysunku (4.16) – strona 21, chodzi o rysunek z monografii o numerze 5.12.
8. Mylne stwierdzenie – strona 22 (brak numeru strony na wydruku) „Powyższe zabiegi pozwoliły na utrzymanie podobnej siły nośnej. W tabeli 4 przedstawiono...” - wartość 39261 N i pozostałe, które są w okolicy 51500 N nie są podobne.
9. Mylne stwierdzanie w opisach tabel od 8 do 13 „Wyniki pomiarów siły nośnej” sugeruje na przeprowadzenie badań doświadczalnych, powinno być wyniki symulacji lub wyniki obliczeń.
10. Nieprecyzyjne stwierdzenie strona 29 „udało się zwiększyć o niemalże 30%”, uzyskano wzrost 28% i to należało podać, nie ma tu potrzeby „wzmacniania” wartości 28%.
11. Błąd w tabeli 8 wartość procentowa podana 0,28% powinno być 28%, podobnie w tabeli 9 jest 0,00045% powinno być 0,045%. Błąd ten jest tylko w tabeli, bo autor podaje prawidłowe wartości w tekście.
12. Błędne odniesienie na stronie 32 podany jest rysunek 11 a chodzi o rysunek 14.

Przedstawione błędy i pomyłki nie umniejszają w żaden sposób wartości naukowej i merytorycznej recenzowanej pracy doktorskiej.

Podsumowanie

Po zapoznaniu się z pracą doktorską: „Badanie efektu przypowierzchniowego na przykładzie ekranoplanu z wykorzystaniem metod numerycznych” Pana magistra inżyniera Adama Rojewskiego, stwierdzam, że **spełnia ona wymagania stawiane pracom doktorskim**. W związku z tym, w oparciu o obecne, obowiązujące przepisy dotyczące szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim, w postępowaniu habilitacyjnym oraz w postępowaniu o nadanie tytułu profesora (Dz.U. 2018 poz. 261) oraz Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. 2018 poz. 1669) **popieram wniosek do Rady Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej o dopuszczenie jej do publicznej obrony w dyscyplinie inżynieria lądowa, geodezja i transport.**

Uwój Zawitko