

Dr hab. inż. Mikołaj Oettingen, prof. AGH  
Wydział Energetyki i Paliw  
Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii  
e-mail: moettin@agh.edu.pl  
tel.: +48 12 617 51 89

Kraków, 25.11.2024

**Recenzja rozprawy doktorskiej Pana mgr. inż. Adama Rojewskiego:  
“Badania efektu przypowierzchniowego na przykładzie ekranoplanu  
z wykorzystaniem metod numerycznych”**

**1. Podstawa formalna wykonania recenzji**

Podstawą formalną opracowania niniejszej recenzji jest uchwała Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Lądowa, Geodezja i Transport Politechniki Poznańskiej z dnia 29 października 2024 r. w której zostałem powołany na recenzenta przedmiotowej rozprawy doktorskiej, o czym zostałem powiadomiony przez Przewodniczącego Rady Naukowej, prof. dr. hab. inż. Jacka Pielechę pismem z dnia 29 października 2024 r.

**2. Ogólna charakterystyka rozprawy**

W rozprawie doktorskiej Pan mgr inż. Adam Rojewski przedstawia istotną tematykę wykorzystania efektu przypowierzchniowego w projektowaniu ekranoplanów przy użyciu zaawansowanych metod numerycznych. Wybrana tematyka naukowa jest aktualna w kontekście projektowania innowacyjnych statków powietrznych, a tym samym stanowi interesujący obszar badań nad efektami aerodynamicznymi z naukowego punktu widzenia. Analiza czynników wpływających na kluczowe parametry statku powietrznego, takie jak siła nośna, opór aerodynamiczny oraz sprawność konwersji energii stanowi podstawę do opracowania nowych koncepcji projektowych oraz do ich późniejszego wdrożenia komercyjnego. Warto również zaznaczyć, że tematyka naukowa przedstawionej rozprawy doktorskiej w sposób bezpośredni wpisuje się w obecne trendy wykorzystania zaawansowanych narzędzi numerycznych do analiz z zakresu szeroko-pojętej mechaniki płynów, a szczególnie zjawisk przepływowych. Również motywacja do podjęcia przedstawionej tematyki naukowej jest solidna, biorąc pod uwagę aspekty ekonomiczne oraz bezpieczeństwa badanych płatowców. Badania naukowe zostały wykonane w sposób prawidłowy w odniesieniu do kluczowych zagadnień badawczych m.in. w zakresie analizy numerycznej opracowanych modeli dla różnych parametrów wejściowych z uwzględnieniem dodatkowych elementów geometrycznych takich jak kłapy czy płyty.

Z formalnego punktu widzenia rozprawa doktorska w formie monotematycznego cyklu powiązanych publikacji nie budzi zastrzeżeń. Zadeklarowanym przez autora osiągnięciem naukowym jest cykl sześciu publikacji związanych bezpośrednio

z postulowaną tematyką naukową, opublikowanych w latach 2017-2019. Liczba rozdziałów rozprawy pozwala na rzetelne przedstawienie zagadnień teoretycznych jak i praktycznych związanych z wykonanymi obliczeniami numerycznymi oraz z interpretacją otrzymanych wyników. Rozprawa została napisana w sposób przejrzysty z uwzględnieniem standardów piśmiennictwa naukowego. Zaprezentowane tabele, rysunki oraz wzory matematyczne adekwatnie uzupełniają opisy tekstowe przedstawionych zagadnień naukowych oraz otrzymanych wyników. Rozprawa doktorska zawiera 36 wspierających referencji z których tylko kilka stanowi publikacje naukowe w renomowanych międzynarodowych wydawnictwach. Dodatkowo, bibliografia nie została przygotowana w spójny sposób charakterystyczny dla rozpraw doktorskich oraz zgodny z przyjętą praktyką w zakresie tworzenia bibliografii naukowych, co z kolei utrudnia identyfikację wykorzystanych źródeł. Integralną częścią rozprawy jest sześć wspomnianych publikacji naukowych wraz z oświadczeniami o udziale merytorycznym autora w ich przygotowaniu oraz zwięzłymi opisami w języku polskim. Jakość naukowa publikacji odpowiada wymaganiom związanym z przygotowaniem rozprawy doktorskiej w formie cyklu monotematycznych publikacji naukowych a zatem każda z nich stanowi istotny przyczynek do całości zaprezentowanych badań. Pięć z sześciu publikacji zostało napisane w języku angielskim co zwiększa ich międzynarodową rozpoznawalność.

### 3. Merytoryczna ocena rozprawy

Rozprawa doktorska bazuje na sześciu publikacjach naukowych opublikowanych w latach 2017-2019 w trzech różnych czasopismach (pięć publikacji) i Wydawnictwie Politechniki Poznańskiej (jedna publikacja).

W pierwszej publikacji „*Numerical analysis of influence of the wing in ground effect on aircraft lift coefficient and on car downforce coefficient*” autor zaprezentował ogólne wprowadzenie teoretyczne efektu przypowierzchniowego. Publikacja opisuje zagadnienie efektu przypowierzchniowego oraz jego wpływ na siłę nośną samolotu jak i siłę docisku w samochodach wyścigowych. W publikacji prawidłowo przedstawiono metodę tworzenia siatki numerycznej opracowanego modelu oraz wybór parametrów wejściowych do przeprowadzenia symulacji numerycznych. Przedstawione wnioski w zakresie zależności współczynnika siły nośnej od kąta natarcia dla badanego profilu NACA 0015 zostały potwierdzone wynikami numerycznymi jak i profesjonalnymi wizualizacjami.

Druga publikacja „*Airfoil selection for wing in ground effect craft*” skupia się na obliczaniach numerycznych dla dziesięciu różnych profili aerodynamicznych. Symulacje skrzydła zostały wykonane w warunkach występowania efektu przypowierzchniowego. W pierwszej kolejności, na podstawie analizy numerycznej autor wybrał płat charakteryzujący się największym współczynnikiem siły nośnej przy najmniejszym współczynniku oporu. W drugiej fazie badań autor poprawnie przeanalizował wybrany profil NACA M8 dla 21 kątów natarcia w zależności od obecności lub braku efektu przypowierzchniowego. Otrzymane wyniki zostały prawidłowo zinterpretowane oraz opisane. W publikacji również przedstawiono wiarygodny wstęp teoretyczny dotyczący obszarów wykorzystania efektu przypowierzchniowego.

W trzeciej publikacji „*Usage of wing in ground effect to maintain lift force with reduced fuel consumption of aircraft*” autor skupia się na zagadnieniach zmniejszenia



zużycia paliwa silnika odrzutowego samolotu podczas lotu w warunkach występowania efektu przypowierzchniowego. Na uwagę zasługuje analiza numeryczna przekierowania gazów spalinowych z silnika odrzutowego na górną powierzchnię płata oraz pod dolną powierzchnię płata. Analiza została wykonana prawidłowo dla profilu NACA M8 w kontekście określenia współczynników siły nośnej oraz współczynników oporu powietrza. Przeprowadzone badania wprost pokazują spadek zużycia paliwa a tym samym energochłonności statku powietrznego, gdy oddziałuje na niego efekt przypowierzchniowy. Warunki brzegowe obliczeń numerycznych zostały dobrane prawidłowo, a obliczenia zostały wykonane w sposób wiarygodny.

Czwarta publikacja „*Flaps influence on wing in ground effect lift coefficient*” porusza ważny temat użycia klap w locie pod wpływem efektu przypowierzchniowego. Autor rzetelnie przeprowadził analizę numeryczną wpływu użycia klap na siłę nośną oraz współczynnik oporu powietrza. Dużym atutem publikacji jest przedstawienie analizy porównawczej współczynników siły nośnej oraz współczynników oporu w zależności od charakteru lotu dla trzech kątów natarcia. Potencjalne benefity użycia klap w locie pod wpływem efektu przypowierzchniowego zostały dobrze uzasadnione przez profesjonalną interpretację otrzymanych wyników numerycznych. Zastosowanie klap zwiększa współczynnik siły nośnej jak i współczynnik oporu. W efekcie wzrostu ciśnienia bezwzględного pod płatem możliwy jest lot z mniejszą prędkością bez zmiany siły nośnej jak i skrócenie drogi startowej samolotu bez ryzyka przeciągnięcia. Warto zaznaczyć, że publikacja zawiera profesjonalne wizualizacje otrzymanych numerycznie dystrybucji ciśnienia jak i prędkości dla wybranego profilu, co stanowi jeden z jej atutów.

W piątej publikacji „*Zjawisko efektu przypowierzchniowego w lotnictwie*” będącej monografią wydana przez Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej w 2018 roku, autor wprowadza szeroko-pojęte zagadnienie efektu przypowierzchniowego. Efekt przypowierzchniowy został przedstawiony w kontekście teoretycznym, jak i praktycznym, dotyczącym jego zastosowania w ekranoplanach. Autor również przedstawił cechy konstrukcyjne ekranoplanów w porównaniu do cech konstrukcyjnych statków powietrznych powszechnie używanych w lotnictwie cywilnym. Monografia pokazuje możliwości badania efektu przypowierzchniowego przy pomocy zaawansowanych narzędzi numerycznych. Zjawiska przepływowe wokół płata zostały przeniekalizowane numerycznie a rezultaty zostały przedstawione w monografii. Dodatkowo monografia przedstawia studium parametryczne w odniesieniu do parametrów mechanizacji skrzydła oraz jej wpływu na lot w obszarze działania efektu przypowierzchniowego. Na uwagę zasługuje wprowadzenie koncepcji oraz określenie założeń projektowych płatowca operującego w obszarze działania efektu przypowierzchniowego. Monografia została przygotowana starannie z uwzględnianiem solidnych podstaw merytorycznych, a tym samym stanowi ciekawe źródło informacji na temat zjawiska aerodynamicznego efektu przypowierzchniowego.

Ostatnia, szósta publikacja „*Numerical investigation of endplates influence on the wing in ground effect lift force*” dotyczy analizy wpływu płyt zainstalowanych na końcu skrzydeł na parametry lotu w obszarze działania efektu przypowierzchniowego. Koncepcyjnie, wzrost siły nośnej spowodowany jest wzrostem ciśnienia statycznego podczas lotu na małych wysokościach tzn. małą odległością pomiędzy dolną powierzchnią płata a podłożem. Wykonana analiza numeryczna potwierdziła zalety zastosowania płyt na końcach skrzydeł dla zmniejszenia zużycia paliwa. Otrzymane wyniki zostały prawidłowo zinterpretowane oraz opisane w kontekście określenia miejsc powstawania wirów



powietrza na skutek różnicy ciśnień pod i nad skrzydłem. Publikacja została napisana z należytą starannością.

Rozprawa doktorska bazuje na cyklu sześciu monotematycznych publikacji naukowych. Kompilacja metod, wyników oraz wniosków z publikacji została prawidłowo przedstawiona przez doktoranta w rozprawie z merytorycznego punktu widzenia. Rozprawa w sposób syntetyczny nawiązuje do załączonych publikacji i stanowi wiarygodne podsumowanie wykonanych badań naukowych.


#### 4. Zagadnienia do omówienia

W zaprezentowanej formie rozprawa doktorska została przygotowana z wymaganą starannością, tylko z niewielkim uchybieniami od strony formalnej, a tym samym nie wymaga poprawek ani uzupełnień. Niemniej jednak, bardzo proszę o odniesienie się do poniższych zagadnień podczas publicznej obrony rozprawy doktorskiej:

- a) Możliwość wykorzystania alternatywnych narzędzi numerycznych mechaniki płynów do analizy efektu przepowierzchniowego.
- b) Porównanie wykonanych badań naukowych z pracami innych grup badawczych zajmujących się tematyką efektu przepowierzchniowego.
- c) Wytyczenie dalszych kierunków badań naukowych z określeniem kluczowych obszarów badawczych mechaniki płynów nad statkami powietrznymi planowanymi do lotów w obszarze oddziaływania efektu przepowierzchniowego.

#### 5. Podsumowanie

Po zapoznaniu się z przedstawioną rozprawą doktorską stwierdzam jednoznacznie, że spełnia ona wszystkie wymagania ustawowe stawiane rozprawom doktorskim, tzn. stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego, prezentuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w określonej dyscyplinie oraz umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Niniejszym wnioskuję o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.



Dr hab. inż. Mikołaj Oettingen, prof. AGH

