

Prof. dr hab. inż. Lech Łobocki

## RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr Ahmada Ababei nt.  
*Collision statistics of aerodynamically interacting cloud droplets in turbulent flows*  
wykonanej pod opieką promotorską dr hab. Bogdana Rosy  
w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowym Instytucie Badawczym

### 1. Podstawa wykonania recenzji

Niniejsza recenzja została wykonana w związku z uchwałą nr 25/2024/XI Rady Naukowej Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - Państwowego Instytutu Badawczego z dnia 13 września 2024 roku w sprawie wszczęcia przewodu doktorskiego i wyznaczenia recenzentów, na podstawie ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.).

### 2. Opis rozprawy

Rozprawa doktorska mgr Ahmada Ababei nt. „*Collision statistics of aerodynamically interacting cloud droplets in turbulent flows*” została przedłożona do recenzji w postaci zbioru opublikowanych i powiązanych tematycznie artykułów naukowych, złożonego z pięciu publikacji w języku angielskim, i zaopatrzonego w 40-stronicową syntezę przedstawianego osiągnięcia. W skład owego zbioru wchodzi (przy poszczególnych tytułach podaję wkład autorski doktoranta wg jego oświadczenia, wskaźnik wpływu czasopisma według bazy Journal Citation Reports (2023) oraz liczbę cytowań według bazy Web of Science):

1) A. Ababaei, B. Rosa, J. Pozorski i L.-P. Wang, 2021: On the effect of lubrication forces on the collision statistics of cloud droplets in homogeneous isotropic turbulence, *J. Fluid Mech.*, **918**, A22-32, doi:10.1017/jfm.2021.229; 70%, IF 3,6, 6.

2) A. Ababaei, A. Michel i B. Rosa, 2023: A Novel Parallel Approach for Modeling the Dynamics of Aerodynamically Interacting Particles in Turbulent Flows, w: *Parallel Processing and Applied Mathematics*, s. 359-370, *Lecture Notes in Computer Sciences*, Springer; 60%.

3) A. Ababaei i B. Rosa, 2023: Collision efficiency of cloud droplets in quiescent air considering lubrication interactions, mobility of interfaces, and noncontinuum molecular effects. *Phys. Rev. Fluids*, **8**, 014102, doi:10.1103/PhysRevFluids.8.014102; 85%, IF 2,5, 6.

4) A. Ababaei, A. Michel i B. Rosa, 2024: Collision Statistics of Droplets in Turbulence Considering Lubrication Interactions, Mobility of Interfaces, and Non-continuum Molecular Effects. *Flow, Turbulence and Combustion*, **112**, 33-59, <https://doi.org/10.1007/s10494-023-00450-1>; 80%, IF 2,0.

5) B. Rosa, S. Kopec, A. Ababaei, i J. Pozorski, 2022: Collision statistics and settling velocity of inertial particles in homogeneous turbulence from high-resolution DNS under two-way momentum coupling. *Int. J. Multiphase Flow*, 148, 103906, doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2021.103906>; 20%, 3,6, 3.

Cztery spośród w/w pozycji (1,3,4,5) stanowią artykuły w międzynarodowych czasopismach naukowych, piąta (2) jest tekstem referatu, opublikowanym w formie rozdziału w wydawnictwie książkowym o charakterze cyklicznym.

### 3) Aktualność problematyki badawczej i znaczenie tematu rozprawy

Mimo kilkudziesięcioletniej historii badań, procesy wzrostu kropli chmurowych nie zostały jeszcze poznane w dostatecznym stopniu. Jednym z współczesnych obszarów badań jest zachowanie się kropelek w turbulencyjnym polu prędkości, rzutujące na przebieg ich koalescencji. Są to zagadnienia o wysokim stopniu specjalizacji, uprawiane na świecie przez stosunkowo wąską grupę naukowców. W problematykę tą wpisują się prace mgr Ahmada Ababei, dotyczące interakcji aerodynamicznych pomiędzy kroplami.

Zagadnienia poruszane w rozprawie, choć sprawiające wrażenie bardzo szczegółowych, mają istotne aspekty praktyczne. Obszarem wymagającym nowej i wciąż dokładniejszej wiedzy w tym zakresie są prognozy meteorologiczne, wobec szczegółowości, trafności i horyzontu czasowego których to stawiane są coraz wyższe wymagania. W warunkach zmiany klimatu i obserwowanych zmian w strukturze opadów, kluczowego znaczenia nabiera zdobycie pełnej, ogólnie ważnej wiedzy o przebiegu zjawisk fizycznych, w miejsce stosowanych często związków empirycznych. Obok prognoz opadów, wiedza ta znajdzie również zastosowanie w prognozie mgieł, ochrony przed oblodzeniem statków powietrznych czy turbin wiatrowych, prognozach i ekspertyzach dotyczących jakości powietrza, a w większych skalach czasowych – przy prognozach zmiany klimatu. Można także przypuścić, że obszar możliwych zastosowań wykroczy poza meteorologię, obejmując najrozmaitsze urządzenia techniczne (w tym instalacje stosowane w inżynierii środowiska), w których mamy do czynienia z turbulentnymi przepływami wielofazowymi.

Z uwagi na ograniczenia dotyczące badań laboratoryjnych i pomiarów terenowych, cennym uzupełnieniem wiedzy z nich wynoszonej są symulacje komputerowe, stanowiące podstawowe narzędzie badawcze ocenianej rozprawy. Jakkolwiek metody takie są obecnie relatywnie często stosowane, posługiwanie się modelami komputerowymi, a zwłaszcza ich ulepszanie i rozwój stanowi zadanie trudne, wymagające znacznej wiedzy i dużych nakładów pracy. Te właśnie metody były podstawowym narzędziem badawczym rozprawy.

### 4) Ocena znaczenia prac wchodzących w skład rozprawy i wkładu autorskiego

Na wstępie zauważyć należy, że warunek określony w art. 186 ust. 1 pkt 3 lit. a Prawa o szkolnictwie wyższym („posiada w dorobku co najmniej (...) 1 artykuł naukowy opublikowany w czasopiśmie naukowym lub w recenzowanych materiałach z konferencji międzynarodowej, które w roku opublikowania artykułu w ostatecznej formie były ujęte w wykazie sporządzonym zgodnie z przepisami wydanymi na podstawie art. 267 ust. 2 pkt 2 lit. b”) spełniają wszystkie cztery artykuły naukowe wchodzące w skład rozprawy. Co więcej, dostrzegając fakt 15-krotnego cytowania owych artykułów w innych publikacjach – pomimo wąskiej, wyspecjalizowanej tematyki i krótkiego okresu od ich pojawienia się – można tu już mówić o spełnieniu warunku „znacznego wkładu w rozwój dyscypliny”, o którym mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2, dotyczącym przyznawania stopnia doktora habilitowanego.

W mojej opinii, publikacje przedstawione w rozprawie stanowią oryginalny przyczynek do bieżącego stanu wiedzy światowej, wypełniając istniejącą dotąd lukę w obszarze wiedzy o naturze interakcji aerodynamicznych między kropelkami chmurowymi. Z tego punktu widzenia, spełnione zostały wymogi tradycyjnie stawiane rozprawom doktorskim.

Wkład autorski, wyrażony ułankowo, kształtuje się na poziomie ponad 60% w przypadku czterech z omawianych publikacji. Ważniejsza jest jednak ocena wkładu merytorycznego, ponieważ przy szacowaniu ułankowym mamy najczęściej do czynienia z niewspółmiernością elementów pracy naukowej. Z oświadczeń Doktoranta oraz jego współautorów wynika, że jego prace obejmowały rozbudowę kodu komputerowego, przeprowadzanie symulacji, przetwarzanie i interpretację wyników, oraz pisanie tekstów publikacji. Wykonanie tych czynności, choć nie obejmujących konceptualizacji prac, należy uznać za wypełnienie wymogów określonych w art. 187 ust. 1-2, tj. wykazania ogólnej wiedzy teoretycznej w dyscyplinie, oraz zademonstrowanie oryginalnego rozwiązania problemu naukowego.

#### 5) Główne osiągnięcia naukowe i powiązanie publikacji wchodzących w skład rozprawy.

Można zauważyć, że kolejność umieszczenia poszczególnych dzieł w rozprawie przez Doktoranta nie odpowiada chronologii ich opublikowania, co nieco zaburza postrzeganie ich powiązań przez odbiorcę. Prawdopodobnie, Doktorant kierował się tu własną oceną ich rangi. Biorąc pod uwagę chronologię, kolejność tą można określić jako 1 – 5 – 3 – 4, traktując publikację 2 jako wątek poboczny, dotyczący aspektów obliczeniowych. Cykl prac otwiera artykuł 1, „On the effect of lubrication forces...”, w którym przedstawiono nowatorską metodę uwzględnienia sił powstających w cienkiej warstwie płynu pomiędzy dwoma poruszającymi się ciałami (zwanymi siłami smarowania), w modelu numerycznym dynamiki płynu, stosowanym do bezpośredniej symulacji numerycznej przepływu (DNS). Rozszerzony tak model zastosowano do zbadania wpływu owych sił na występowanie zderzeń kropli chmurowych dla przypadku układu monodispersyjnego przy wąskim przedziale liczb Reynoldsa, wykazując znaczne zwiększenie względnej wartości promieniowej składowej prędkości kropeł w bezpośredniej ich bliskości, w razie uwzględnienia sił smarowania. W kolejnej pracy, 5 „Collision statistics and settling velocity...” statystyka zderzeń została przebadana w symulacjach z wyższą rozdzielczością siatki, przy znacznie szerszym przedziale wartości liczby Reynoldsa. Następnie, w publikacji 3 „Collision efficiency of cloud droplets in quiescent air...” skupiono się na przebadaniu efektów bliskich oddziaływań między kroplami w trakcie osiadania w spokojnym powietrzu; uwzględniono tu też warunki, w których odległość między kroplami staje się mniejsza, niż średnia droga swoboda cząsteczek w otaczającym powietrzu, przez co dochodzi do naruszenia dopuszczalności zasad mechaniki ośrodka ciągłego. Wreszcie, w publikacji nr 4 „Collision Statistics of Droplets in Turbulence...” wpływ owych czynników przebadano dla warunków przepływu turbulentnego – tym samym dopełniając kompleksowego rozwiązania problemu wyjściowego. Jak wspomniano wcześniej, publikacja nr 2 „A Novel Parallel Approach...” wybiega poza ten główny nurt, koncentrując się na kwestiach wydajności obliczeniowej stosowanego algorytmu.

#### 6) Uwagi krytyczne i pytania

Na wstępie zauważyć należy, że trzon rozprawy stanowią artykuły opublikowane w międzynarodowych czasopismach naukowych o ustalonej renomie, i stosujących tradycyjny, nie nazbyt pospieszny tryb recenzowania. Można zatem przyjąć, że zgłoszone przez recenzentów uwagi i poprawki zostały już uwzględnione, a formułowanie uwag mających na celu poprawę finalnej wersji publikacji nie ma tu już zastosowania. Warto natomiast skoncentrować uwagę na syntetycznej prezentacji osiągnięć naukowych, włączonej do rozprawy. W moim odczuciu, tekst ten powinien raczej stanowić uzupełnienie cyklu publikacji, niż próbę ich streszczenia lub częściowego powtórzenia, i powinien w większym stopniu być adresowany do szerszego, mniej

wyspecjalizowanego audytorium – tak, aby przedstawiane osiągnięcia były łatwiejsze do uchwycenia. Dlatego chciałbym, aby w trakcie obrony Doktorant ukazał bardziej przystępny sposób przedstawienia wyników, w szczególności przedstawiając:

- mechanizm powstawania i działania sił smarowania
- zależności między prędkością kropeł, a prędkością otaczającego płynu
- sposób uwzględnienia bliskich oddziaływań między kroplami w układzie równań

#### 7) Ocena i wniosek końcowy

Przedłożona do oceny rozprawa zawiera oryginalne rozwiązanie problemu naukowego i demonstruje ogólną wiedzę teoretyczną w dyscyplinie, a przez to spełnia warunki określone w przepisach ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz.U. z 2023 r. poz. 742, z późn. zm.). Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy do obrony.

