

Dr hab. Piotr M. Korczyk  
Zakład Biosystemów i Miękkiej Materii  
Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN  
ul. Pawińskiego 5B  
02-106 Warszawa

Warszawa 06.07.2022

**Recenzja pracy doktorskiej Pana mgra Michała Remera  
pt. „Triple Line Dynamics for Droplet Impingement and Capillary Flows”,  
wykonanej pod kierunkiem prof. dr. hab. Jacka Szumbarckiego  
oraz dr. Tomasza Bobińskiego  
na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej**

Rozprawa doktorska Pana mgra Michała Remera została zgłoszona do recenzji decyzją Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna w ramach dyscypliny naukowej inżynieria mechaniczna dziedziny nauk inżynieryjno-technicznych.

W ramach przygotowywania rozprawy opublikowana została seria artykułów konferencyjnych i dwóch publikacji w renomowanych pismach, w których Pan Remer jest pierwszym autorem. Ponadto na dorobek naukowy Doktoranta składają się dodatkowe publikacje w dziedzinie aerodynamiki. Na uwagę zasługuje fakt, że Autor dysertacji kierował realizacją projektu badawczego finansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki w ramach programu Preludium.

Praca poświęcona jest zagadnieniu oddziaływania cieczy z powierzchniami. Jest to problem dotyczący szerokiego zakresu zagadnień technicznych oraz naturalnych procesów. Lepsze zrozumienie dynamiki linii trójfazowej pozwoliłoby więc na wypełnienie luk w naszej wiedzy na ten temat i miałyby znaczenie dla optymalizacji wielu rozwiązań technicznych takich jak na przykład wydobywanie minerałów, zmniejszenie tarcia w urządzeniach mechanicznych, mechaniczna obróbka metali, konstrukcja statków latających i wielu innych.

Celem pracy było dostarczenie nowej wiedzy na temat dynamiki linii trójfazowej poprzez zebranie odpowiedniej bazy danych eksperymentalnych i odniesienie ich do istniejących modeli opisujących ten proces. Dysertacja w uporządkowany sposób przedstawia kolejne etapy pracy, pojawiające się wyzwania techniczne i oryginalne próby ich rozwiązania.

Praca składa się z czterech rozdziałów. Dwa pierwsze wstępne rozdziały obejmują wprowadzenie oraz opisują teoretyczne podstawy opisu dynamiki linii trójfazowej.

Rozdział trzeci obejmuje zasadniczą część rozprawy, gdzie opisane zostały prace wykonane w ramach przygotowywania niniejszej dysertacji. W rozdziale opisano zarówno metodykę prac eksperymentalnych, same wyniki tych prac jak również szczegółowo opisano metody przetwarzania obrazów będące głównym narzędziem do pozyskiwania ostatecznych wyników pomiaru kąta kontaktu. Rozdział ten podzielony jest na dwie części. W pierwszej opisano badania kropeł padających na powierzchnię; w drugiej zaś badanie linii trójfazowej w przepływie przez kapilarę. Zwyczajowo metody badawcze opisywane są w oddzielnym rozdziale, tutaj nietypowo metody, wyniki i ich analiza zostały opisane w jednym rozdziale, jednak odpowiednia struktura podrozdziałów sprawia, że jest to wystarczająco czytelne dla czytelnika.

Ostatni rozdział poświęcony jest wnioskom i planom kontynuacji badań.

Ogólnie praca napisana jest zwięźle i zarazem sprawnie. Zaprezentowane oryginalne wyniki pomiarów kąta kontaktu pokazują wpływ między innymi bezwładności na proces ewolucji linii kontaktu ciecz-powierzchnia ukazując niedokładność istniejących modeli. Ciekawe są pokazane znaczące różnice między wartościami kątów statystycznych a dynamicznych. Praca dostarcza wglądu w badany proces w szerokich zakresach prędkości co pozwoliło między innymi na walidację modelu Kistlera. Dużą wartością dysertacji jest również rozwinięcie samej metodyki pomiaru dynamicznych kątów kontaktu obejmujących sam układ eksperymentalny jak również metody analizy obrazu. Autor przedstawia krytyczne zestawienie różnych metod numerycznych użytych do pomiarów kąta uwzględniając różne możliwe źródła niedokładności i niepewności.

Pomimo zasadniczo pozytywnej oceny pracy mam również kilka pomniejszych uwag:

1. W rozdziale 2.1 Autor wypisuje liczby bezwymiarowe takie jak liczba kapilarna czy liczba Reynoldsa, istotne dla opisu dynamiki linii trójfazowej. Brakuje mi tu

jednak liczby Bonda i liczby Webera, które też powinny się znaleźć w tym zestawieniu i zostać odpowiednio przedyskutowane.

2. W rozdziale 3.1.1, tuż przed opisem eksperymentów z kroplami opisany jest układ eksperymentalny, który używany był do opisanych w dalszej kolejności eksperymentów z kapilarą. Brak jest natomiast szczegółowego schematu pokazującego aparaturę do tworzenia kropelek i ich zderzenia z powierzchnią. Według mnie nie zostało to też wystarczająco dokładnie opisane.
3. Na niektórych wykresach (na przykład Figure 3.7 – 3.9) brak jest legend lub opisów używanych symboli i kolorów w podpisie wykresu. Opis można znaleźć w tekście, jednak nie jest to wygodne dla czytelnika i nie spełnia ogólnie przyjętych zasad.
4. Równanie (3.3) opisane jest jako „Gaussian blur”, jednak opisuje ono raczej dwuwymiarowy rozkład Gaussa służący jako kernel do rozmycia obrazu. Zastosowanie operacji rozmycia nie jest też dobrze uzasadnione w tekście rozprawy.
5. Figure 3.19 przedstawia wyniki przetwarzania obrazów dla różnych wartości progowania jasności. Nie jest jednak podane jakie to były wartości i na jakich zasadach zostały przyjęte.
6. Przy przepływie przez kapilarę na rysunkach prezentujących zdjęcia powierzchni międzyfazowej brakuje oznaczenia gdzie znajduje się która faza i gdzie jest mierzony kąt. Nie jest to oczywiste dla czytelnika. Wydaje mi się również, że obrazki prezentują przypadki dla kąta mniejszego od 90 stopni a ciekawe jest jak wyglądały przypadki dla wklęsłego menisku przy kącie większym od 90 stopni.
7. Praca byłaby według mnie bardziej kompletna i wartościowa gdyby Autor podjął próbę porównania wyników dla kropelek i dla kapilary. Wydaje się, że prędkość linii trójfazowej można całkiem łatwo otrzymać z różniczkowania po czasie zmierzonej średnicy  $D$ . Zatem możliwe byłoby wyznaczenie zależności kąta od liczby kapilarnej dla pomiarów z kropelek i bezpośrednie porównanie ich z pomiarami dla kapilary.

Pomimo pewnych niedoskonałości, których część opisałem powyżej, stwierdzam wysoki poziom naukowy zaprezentowanej rozprawy doktorskiej Pana mgra Michała Remera. Dysertacja stanowi spójny opis, wieloetapowej pracy nad konstrukcją układu, wykonaniu licznych eksperymentów, analizie obrazów i zgromadzeniu bazy danych a następnie porównaniu ich istniejącymi modelami. Otrzymane wyniki są oryginalne i przyczyniają się do poszerzenia wiedzy w zakresie inżynierii mechanicznej.

Biorąc pod uwagę wartość merytoryczną rozprawy doktorskiej Pana mgra Michała Remera, stwierdzam, że oceniana praca doktorska spełnia kryteria stawiane kandydatom ubiegającym się o stopień naukowy doktora, określone w § 6 ust. 3 rozporządzenia Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z dnia 19 stycznia 2018 r. w sprawie szczegółowego trybu i warunków przeprowadzania czynności w przewodzie doktorskim (Dz. U. z dnia 30 stycznia 2018 r. poz. 261).

W związku z przedstawioną wyżej pozytywną oceną całej pracy doktorskiej wnoszę do Rady Naukowej Dyscypliny Inżynieria Mechaniczna Politechniki Warszawskiej o dopuszczenie Pana mgra Michała Remera do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

