

Dr hab. Ryszard Drozdowski prof. UG
Uniwersytet Gdański
Instytut Fizyki Doświadczalnej
80-308 Gdańsk
email: fizrd@ug.edu.pl
tel: 663022088

Gdańsk 14.05.2019

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Kamili Haule pt.

„Modelling the influence of dispersed oil droplets on upwelling light flux in seawater in application to satellite remote sensing”

(“Modelowanie wpływu zdyspergowanych substancji ropopochodnych na oddolny strumień światła wychodzący z wody morskiej w aspekcie badań satelitarnych”).

Praca doktorska mgr Kamili Haule została wykonana w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie pod kierunkiem dra hab. Mirosława Dareckiego, prof. IOPAN. Rozprawa została przedstawiona jako spójny tematycznie zbiór 4 artykułów opublikowanych w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR): Journal of the European Optical Society - Rapid publications (Impact Factor: IF = 1,250, punktacja według Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego: MNiSW = 25), Environmental Science and Pollution Research (IF = 2,800, MNiSW = 30) oraz Estuarine, Coastal and Shelf Science (IF = 2,413, MNiSW = 35). Artykuły te wraz z dodatkowymi uzupełnieniami tworzą zamkniętą całość.

Przedstawiona do recenzji praca napisana jest po angielsku, liczy 171 stron, jest podzielona na 4 części i zawiera dwa załączniki. W pierwszej części umieszczono listę używanych w pracy skrótów (jest to bardzo przydatne w czasie czytania rozprawy), spisy rysunków i zamieszczonych tabel. Części druga i trzecia to odpowiednio 14- i 24-stronicowe streszczenia pracy napisane po angielsku i po polsku. Część czwarta (jednak bez jednoznacznego oznaczenia), to zasadnicza część pracy, która zawiera wprowadzenie i cztery rozdziały będące opublikowanymi artykułami. Tutaj należy zaznaczyć, że wyniki prezentowane w tej pracy wykraczają poza osiągnięcia opisane w artykułach. Opublikowane w renomowanych czasopismach publikacje były recenzowane przez ekspertów, a zatem zawarte w nich treści zostały uznane za merytorycznie poprawne. Przychylając się do opinii recenzentów tych publikacji moim zadaniem jest określenie czy przedstawiona praca, a szczególnie udział Autorki w niej, spełniają wymogi stawiane dysertacjom doktorskim.

Tematyka rozprawy jest bardzo ciekawa i w dobie ogromnego wpływu działalności człowieka na środowisko naturalne bardzo ważna. Powszechne użycie ropy naftowej i jej pochodnych praktycznie w każdej dziedzinie produkcji i przetwórstwa wraz z transportem ma szczególnie duży wpływ na ekosystemy rzek i mórz. W środowisku morskim zanieczyszczenia

ropopochodne stwarzają zagrożenie dla dużych obszarów ekosystemu. Zatem bardzo ważna jest umiejętność szybkiego wykrywania i oceny zagrożenia w celu podjęcia odpowiednich działań. Potrzeba ta przyczyniła się do opracowania i wdrożenia różnych metod satelitarne monitorowania morza także w tym aspekcie. Stosowane obecnie metody są dosyć skuteczne w wykrywaniu powierzchniowych filmów olejowych, ale w zasadzie nie są ukierunkowane na wykrywanie i identyfikację zdyspergowanych substancji ropopochodnych. Problem ten jest bardzo złożony gdyż w naturze występuje wiele substancji ropopochodnych, których właściwości fizyko-chemiczne znacznie się różnią i substancje te różnie wpływają na środowisko. Co więcej ich właściwości zmieniają się z czasem. Pani mgr Kamila Haule do analizy tego złożonego problemu postanowiła wykorzystać znane metody modelowania optycznych właściwości środowiska morskiego, które po odpowiednich modyfikacjach, pozwalały na opis charakterystyk strumienia oddolnego w wodzie morskiej zanieczyszczonej zdyspergowanymi olejami. **Istotą pracy jest wskazanie wpływu zdyspergowanych substancji ropopochodnych w wodzie morskiej na oddolny strumienia światła wykorzystywany w teledetekcji, w tym w teledetekcji satelitarnej.** Obliczenie oddolnego strumienia światła w naturalnych warunkach jest bardzo złożone i dlatego od wielu już lat rozwijane są metody obliczeniowe oparte na metodzie Monte-Carlo. W metodzie tej, w analizowanym problemie, śledzi się losy wielu fotonów przemieszczających się od źródeł światła i oddziaływujących z napotkanymi centrami rozprzyszczenia, czy absorpcji, według zadanych zasad. Przy odpowiednio dużej próbie losowej można oszacować wartości pożądanego parametrów optycznych rozpatrywanego układu fizycznego. W niniejszej pracy wykorzystano i „rozbudowano” model środowiska morskiego opracowany przez J. Piskozuba. Aby uwzględnić w tym modelu (rysunek 1) zdyspergowane substancje ropopochodne konieczny jest bezpośredni pomiar współczynników absorpcji i rozprzyszczenia wybranych olejów (patrz załączniki B1. i B2.). Ponadto konieczne jest także określenie funkcji rozkładu wielkości kropli zdyspergowanych substancji w zależności od czasu ich przebywania w toni morskiej (patrz załącznik B3). Obliczenia przeprowadzono w odniesieniu do rzeczywistych stacji pomiarowych. **Zatem praca ma zarówno charakter poznawczy, jak i aplikacyjny w zastosowaniu do wód przybrzeżnych Bałtyku Południowego.**

Jak wynika z oświadczenia mgr Kamili Haule i współautorów (załącznik A, str. 142) to ona przygotowała manuskrypty wszystkich czterech opublikowanych artykułów. Dwa artykuły P1 i P3 mają 3 autorów, artykuł P2 tylko dwóch, a artykuł P4 – czterech autorów. We wszystkich tych publikacjach mgr Kamila Haule występuje jako pierwszy autor. W pracach tych przeprowadziła obliczenia numeryczne i dokonała analizy danych. Włodzimierz Freda, współautor dwóch artykułów P2 i P4 przeprowadził obliczenia związane z rozkładami wielkości kropli olejowych i ich rzeczywistych optycznych parametrów wykorzystując algorytm Mie. Napisał również część artykułu P2 (Autorka podaje że podsekcję 2.2 – ale sekcje w artykule P2 nie są numerowane). Z kolei Henryk Toczek jest współautorem trzech artykułów (P1, P3, P4) i to on zapewniał techniczną pomoc podczas numerycznych obliczeń oraz pomagał w przygotowaniu rysunków. Promotor, Mirosław Darecki jest również współautorem trzech artykułów (P1, P3, P4) . Dostarczył on części danych wejściowych do obliczeń numerycznych (absorbpcja i osłabianie światła mierzone in-situ na wybranych stacjach badawczych podczas kilku rejsów badawczych R/V Oceania), oraz dokonał korekty przygotowanych manuskryptów. **Mogę zatem stwierdzić, że to pani mgr Kamila Haule wniosła największy wkład do powstania tych publikacji.**

Przedstawiona do oceny dysertacja wykonana jest bardzo starannie. Autorka włożyła dużo pracy aby szata graficzna była przejrzysta, a tekst czytelny. Prawie wszystkie rysunki i tabele są dobrze dobrane i poprawnie opisane (wyjątek stanowią rysunki 2 i 8). Uważam również, że praca jest napisana zrozumiałym językiem i czyta się ją z przyjemnością – dotyczy to także streszczenia napisanego w języku polskim.

Streszczenia pracy napisane po angielsku i po polsku różnią się. Streszczenie w języku polskim jest bardziej rozbudowane. Oceniam pozytywnie wykonanie dosyć obszernego opisu po polsku. Praca ta będzie przydatna dla szerszego grona studentów kierunków oceanograficznych zainteresowanych modelowaniem wód morskich i ich zanieczyszczeń. W wyniku skrócenia w streszczeniu w języku angielskim pominięto niektóre referencje znajdujące się w streszczeniu polskim.

Zasadnicza część pracy rozpoczyna się wprowadzeniem w którym Autorka jako motywację podjęcia badań podaje między innymi duży udział zdyspergowanych zanieczyszczeń ropopochodnych pochodzenia z przemysłu lądowego w wodach przybrzeżnych Bałtyku Południowego. Dalej, w zwięzły sposób przedstawia podstawy zastosowanego modelu środowiska morskiego i podaje krótki opis wykonywanych obliczeń. Moim zdaniem brakuje tu krótkiego wprowadzenia dotyczącego mierzonych wielkości optycznych i uzasadnienia użycia reflektancji zdalnej R_{rs} w teledetekcji. Opis algorytmu obliczeniowego też powinien być bardziej rozbudowany (choć był on wykorzystywany i opisany w innych pracach). Krótkie rozważania na temat koniecznej ilości fotonów użytych w symulacji, w powiązaniu z czasem obliczeniowym, pokazałyby jak bardzo złożone są przeprowadzone obliczenia. Ważne to jest również w odniesieniu do wielkości wartości wyznaczanych parametrów i funkcji – np. wartości objętościowej funkcji rozpraszania różnią się aż o 12 rzędów (praca P4 – rysunek 4). W pracy nie ma informacji czy w programie zastosowano obliczenia równoległe.

W tej części pracy zamieszczone są również ważne wyniki pomiarów wykonanych na trzech stacjach w wodach Bałtyku Południowego bezpośrednio w morzu (rysunek 8 na którym oznaczono stacje pomiarowe jest nieczytelny). Wykonano pomiary współczynników absorpcji i rozproszenia, a także reflektancji zdalnej dla zdyspergowanych wyselekcjonowanych 6 substancji olejowych dla 5 koncentracji (1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 15 ppm). Wykonanie tych pomiarów wymagało wielu przygotowań zarówno ze względu na trudności techniczne pomiaru - wykonanie odpowiedniego pływającego pojemnika wraz z detektorem, a także przygotowanie próbek o odpowiednich stężeniach. Zmierzone rozkłady wielkości kropeł w przygotowanych próbkach zostały umieszczone w załączniku B3. Z przeprowadzonej, krótkiej dyskusji wynika, że otrzymane wyniki są w zgodności z wynikami modelu matematycznego dla rozkładów kropeł o maksymalnych średnicach 1 μm i 5 μm . Nie wspomniano jednak jaki były wyniki bezpośredniego pomiaru rozkładu wielkości kropeł. Obliczając ilorazy reflektancji zdalnej R_{rs} dla wybranych pasm widmowych ukazano znaczny wpływ na nie zdyspergowanych substancji olejowych. Oznacza to możliwość teledetekcji zdyspergowanych substancji ropopochodnych w wodzie morskiej. Wyniki te nie zostały jeszcze opublikowane, ale stanowią ciekawy wkład do recenzowanej dysertacji.

W rozdziale 1 rozprawy (praca P1) opisano modelowanie środowiska morskiego zawierającego zanieczyszczenia w postaci kropeł ropy w warstwie powierzchniowej o głębokości 5 m. Obliczenia przeprowadzono dla mocno różniących się właściwościami optycznymi ropy Petrobaltic i Romashkino o stężeniach w zakresie od 1 ppm do 10 ppm. Symulacje zostały wykonane dla rzeczywistego środowiska morskiego w trzech punktach pomiarowych Południowego Bałtyku (Zatoka Gdańska, poblize ujścia rzeki, wody otwarte). Wyniki uzyskano dla dwóch logarytmiczno-



normalnych rozkładów wielkości kropeł olejowych, które można przypisać odpowiednio wielkościom kropeł które powstają zaraz po zanieczyszczeniu i po 14 dniach przebywania ich w toni morskiej. Z opracowania wynika, że oba typy ropy mają indywidualny wpływ na wartość refleksyjności zdalnej R_{rs} . Widoczny jest także znaczny wpływ rozmiaru samych kropeł na refleksyjność, co może być powiązane z upływem czasu od momentu wprowadzenia tych substancji do środowiska morskiego.

W rozdziale 2 (praca P2) dokonano analizy rozkładu rozmiarów kropeł oleju Petrobaltic w środowisku morskim. Z czasem rozmiary kropeł maleją, a maksimum rozkładu przesuwa się w stronę wielkości submikronowych. Rozpatrywane rozkłady logarytmiczno-normalne wielkości kropeł ropy udało się wyrazić za pomocą jednego parametru d_0 tj. średnicy kropli o najbardziej prawdopodobnej wielkości w danym rozkładzie. Ponadto opracowano metodę wyznaczania rzeczywistych parametrów optycznych zawiesiny kropeł oleju o różnych koncentracjach i wielkościach w wodzie morskiej. Metoda ta została zastosowana do ropy Petrobaltic – otrzymane wyniki zamieszczone są również w postaci tabel w załączniku B4. Biorąc pod uwagę wyznaczone parametry optyczne dla określonych zawiesin wyznaczono profile głębokościowe dla oświetlenia odgórnego $E_d(\lambda, z)$, refleksyjności zdalnej $R_{rs}(\lambda)$ i refleksyjności $R(\lambda, z)$ dla wody morskiej o typowych właściwościach optycznych charakterystycznych dla wód Południowego Bałtyku. Z wykonanych symulacji dla stężenia kropeł ropy 1 ppm wynika znaczne zmniejszenie odgórnego strumienia światła, zwłaszcza poczynając od głębokości większych niż 2 m i jest to efekt zależny od rozmiarów kropeł olejowych. Dodatkowo obliczono ilorazy refleksyjności $R(443)/R(555)$ dla różnych głębokości i wykazano, że wielkości kropeł mają duży wpływ na ilorazy refleksyjności zdalnej $R_{rs}(443)/R_{rs}(555)$ używane w algorytmach teledetekcji satelitarnej.

Rozdział 3 (praca P3) jest właściwie kontynuacją i rozszerzeniem rozdziału 2. W badaniach rozpatrywano wpływ zanieczyszczenia wody morskiej ropą Petrobaltic na wartość oświetlenia odgórnego na określonej głębokości $E_d(\lambda, z)$. Obliczenia przeprowadzono dla dwóch logarytmiczno-normalnych rozkładów rozmiarów kropeł oleju – bardzo małych (submikronowe - maksimum rozkładu dla średnicy 0.3 μm) i średniej wielkości (mikrometrowe maksimum rozkładu dla 5 μm) o stężeniach od 10 ppb do 5 ppm. Zmieniano również głębokość warstwy zawierającej zdyspergowany olej w zakresie od 1 m do 5 m. Jak się okazało krople submikronowe mają dużo większy wpływ na zmianę oświetlenia odgórnego niż mikrometrowe. Tego typu obliczenia dają możliwość określenia głębokości penetracji światła w zależności od typu zanieczyszczenia i jego stężenia.

W rozdziale 4 (praca P4) kontynuowane są rozważania z prac poprzednich. Przedmiotem badań jest zdyspergowana ropa Petrobaltic o stężeniach 1 ppm i 5 ppm. Rozpatrywane są krople dla 7 logarytmiczno-normalnych rozkładów rozmiarów dla maksimów rozkładu: 0.5 μm , 1 μm , 5 μm , 10 μm , 50 μm , 100 μm , 500 μm . Stosując wypracowaną metodę obliczono dla tych przypadków rzeczywiste parametry optyczne, rozszerzając tym samym zakres badań na większe wielkości kropeł. Pokazano, że krople milimetrowe rozpraszają światło głównie do przodu. Dla danych rozkładów wielkości kropeł obliczono refleksyjność zdalną i przeanalizowano wpływ na nią niepewności określenia wartości parametrów opisujących warunki zewnętrzne (kierunek i prędkość wiatru, dyfuzyjność atmosfery a także wysokość Słońca). Porównano obliczone wartości refleksyjności zdalnej z wartościami zmierzonymi i obliczonymi dla czystej wody morskiej. Obliczono stosunki refleksyjności zdalnej dla wybranych pasm spektralnych, które używane są w różnych algorytmach teledetekcji. Wskazano, że stosunek $R_{rs}(550)/R_{rs}(690)$ jest najlepszym kandydatem do

wykorzystania w wykrywaniu zdyspergowanego oleju Petrobaltic o kroplach submikronowych i mikronowych w stężeniu 1 ppm w wodach morskich typu 2.

Po przeczytaniu pracy nasuwają się pytania. Jaki wpływ na zmianę oddolnego strumienia światła ma gradient stężenia jak i wielkości kropeł w zależności od głębokości? Jak w rzeczywistości zmieniają się z czasem grubość warstwy wody zanieczyszczonej i odpowiednie gradienty? Czy jest możliwość użycia w prezentowanym modelu dwóch lub kilku zdyspergowanych rodzajów substancji ropopochodnych o różnych koncentracjach i różnych rozkładach wielkości kropeł? Czy na podstawie otrzymanych wyników Autorka nie próbowała ułożyć bardziej złożonego algorytmu, który w jednoznaczny sposób wykazywałby istnienie zanieczyszczeń?

Z przedstawionych w dysertacji badań wynika, że wpływ zdyspergowanych zanieczyszczeń ropopochodnych na oddolny strumień światła jest widoczny i mierzalny. Jednakże, ze względu na występowanie w wielu przypadkach niejednoznacznego wpływu wielkości i koncentracji kropeł substancji zdyspergowanych na wybrane funkcje refleksyjności, problem zdalnego wykrywania i rozpoznawania typu zanieczyszczeń pozostaje otwarty, przynajmniej w pewnych zakresach ich zmienności. Na przykład, jak można odczytać z tabeli 3a w pracy P4, w porównaniu do czystej wody, iloraz $R_{rs}(440)/R_{rs}(550)$ dla kropeł o stężeniu 1 ppm, jest większy dla kropeł o średnicy 0.5 - 1.0 μm a mniejszy dla kropeł o średnicy 5 - 10 μm . Oznacza to, że dla określonych kropeł o rozmiarach z przedziału od 1 μm do 5 μm będzie on równy ilorazowi czystej wody. Takie zachowanie obserwujemy we wszystkich podanych ilorazach względem $R_{rs}(550)$. Natomiast podane ilorazy względem $R_{rs}(\text{pasmo czerwone})$ zawsze są mniejsze od ilorazów dla czystej wody, ale też nie są monotoniczne względem rozmiaru kropeł ropy.

Mając na uwadze opisane powyżej osiągnięcia naukowe można dokonać krótkiego podsumowania. Autorka dokonuje go na stronie 86 w odniesieniu do postawionych celów w pracy, wymienionych w trzech punktach na stronie 66, stwierdzając, że cele te zostały w pełni zrealizowane. Zgadzam się z tym stwierdzeniem podkreślając, że według mnie najważniejszym jest:

a) Uzupełnienie modelu środowiska morskiego opisującego przenoszenie energii promienistej o możliwość uwzględnienia w toni morskiej zdyspergowanych substancji ropopochodnych lub innych.

Do użycia tego modelu koniecznym było:

b) Stworzenie bazy danych rzeczywistych optycznych parametrów wybranych zdyspergowanych olejów, które mogą stanowić zanieczyszczenia. Parametry te można uzyskać wykorzystując teorię Lorenz'a-Mie oraz wyniki odpowiednich pomiarów laboratoryjnych.

Na podstawie powyższych wyników możliwe było:

c) Dokonanie opisu wpływu różnych pod względem wielkości i koncentracji zdyspergowanych substancji ropopochodnych na odgórny i oddolny strumień światła.

d) Wskazanie praktycznych możliwości zdalnej detekcji zdyspergowanych substancji ropopochodnych w toni morskiej.

Konkludując uważam, że rozprawa doktorska Pani Mgr Kamili Haule przedstawiona jako spójny tematycznie zbiór czterech artykułów uzupełniony stosownym wprowadzeniem i załącznikami przedstawia dużą wartość naukową. Postawiony przez nią problem naukowy, sposób jego rozwiązania i otrzymane wyniki świadczą o bardzo dobrej znajomości dziedziny i dowodzą, że jest Ona doświadczonym badaczem. Doktorantka wykazała się wiedzą teoretyczną i dużymi

zdolnościami organizacyjnymi przeprowadzenia potrzebnych pomiarów w różnych laboratoriach, jak i na morzu. Otrzymane wyniki stanowią istotny, a nawet pionierski wkład do opisu przenoszenia energii promienistej w zanieczyszczonym zdyspergowanymi substancjami ropopochodnymi środowisku morskim, co daje też podstawy do teledetekcji tych zanieczyszczeń.

Na koniec muszę stwierdzić, że w pracy Autorka nie ustrzegła się przed kilkoma niezręcznymi sformułowaniami czy używaniem żargonu. Np. na stronie 39 mamy stwierdzenie „Model prowadzi symulacje propagacji światła ...”, na stronie 40 – „dyfuzyjne niebo”, a na stronie 41 - „W wyniku działania modelu ...” itp.

Przedstawione w tekście, nieliczne uwagi krytyczne nie mają moim zdaniem istotnego wpływu na wartość samej pracy.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa doktorska Pani mgr Kamili Haule zatytułowana „**Modelling the influence of dispersed oil droplets on upwelling light flux in seawater in application to satellite remote sensing**” (“Modelowanie wpływu zdyspergowanych substancji ropopochodnych na oddolny strumień światła wychodzący z wody morskiej w aspekcie badań satelitarnych”) spełnia w nadmiarze wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę o dopuszczenie Pani mgr Kamili Haule do dalszych etapów przewodu doktorskiego. Ponadto ze względu na moją wysoką ocenę tej pracy pod względem merytorycznym wnoszę o jej wyróżnienie.

Dr hab. Ryszard Drozdowski prof. UG

Gdańsk, 14 maja, 2019 roku