



Słupsk 15 marca 2015

dr hab. Dariusz Ficek, prof. nadzw. AP

Instytut Fizyki

Akademia Pomorska w Słupsku

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Moniki Woźniak pt. „Identyfikacja grup organizmów dominujących w zakwitach fitoplanktonu w wodach Morza Bałtyckiego metodami niekontaktowymi” napisana w Zakładzie Oceanografii Fizycznej Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego pod kierunkiem prof. dr hab. Adama Krężela oraz dr Mirosława Dareckiego.

Struktura formalna i główne cele pracy

Licząca 140 stron rozprawa Pani mgr Moniki Woźniak podzielona jest na sześć rozdziałów. W części wstępnej Doktorantka przedstawiła założenia, cele i zakres pracy oraz umieściła listę użytych w pracy skrótów i symboli. Część zasadniczą tworzą trzy obszerne rozdziały zawierające definicje badanych wielkości, materiał i metody, wyniki przeprowadzonych analiz oraz modelowania. W części końcowej znajduje się podsumowanie i wnioski, bibliografia (159 pozycji), spis rysunków i tablic oraz dwa załączniki.

Praca ma charakter naukowo-badawczy. Doktorantka przeprowadziła szereg doświadczeń w laboratorium oraz zebrała materiał eksperymentalny uczestnicząc w rejsach po Morzu Bałtyckim. Zebrany bogaty materiał empiryczny poddano analizom matematycznym co zaowocowało opracowaniem kilku oryginalnych algorytmów.

Podstawą rozprawy jest próba realizacji trzech sformułowanych przez Doktorantką pracy ogólnych celów:

„1. Zbadanie charakterystyk spektralnych reflektancji zdalnej i ich zależności od optycznie znaczących komponentów wody morskiej, pod kątem możliwości ich wykorzystania do ulepszenia monitoringu zakwitów fitoplanktonu zdominowanych przez gatunki z grupy cyjanobakterii w Morzu Bałtyckim,

2. Identyfikacja w widmach reflektancji zdalnej takich cech spektralnych, które pozwalają na określenie stężenia fikocyjaniny w wodzie metodami zdalnymi, w tym metodami satelitarnymi,
3. Stworzenie i weryfikacja metody umożliwiającej bezkontaktową identyfikację podstawowych grup organizmów dominujących w zakwitach fitoplanktonu.”

Osiągnięcie tych głównych celów pracy wymagało zrealizowania szeregu badań zarówno teoretycznych, jak i doświadczalnych obejmujących:

- „1. Analizę widm reflektancji zdalnej zmierzonych *in situ* oraz stężenia fikocyjaniny w pobranych próbkach wody morskiej podczas rejsów badawczych statkiem Oceanograf-II w rejonie Zatoki Gdańskiej. Dane te posłużyły do wyznaczenia algorytmu do określenia stężenia fikocyjaniny metodami bezkontaktowymi, w tym metodami satelitarnymi.
2. Laboratoryjne badania właściwości optycznych, w tym widm reflektancji wyselekcjonowanych monokultur gatunków cyjanobakterii z Morza Bałtyckiego: *Nodularia spumigena*, *Anabaena* sp, *Aphanizomenon flos-aquae*.
3. Opracowanie i kalibracje (na podstawie kontrolowanych pomiarów laboratoryjnych) biooptycznego modelu reflektancji, gdzie wykorzystano zmienne spektralnie funkcje fazowe.
4. Symulacje, za pomocą opracowanego modelu, widm reflektancji jakie mogą pojawić się w warunkach naturalnych, oraz analizę tych widm pod kątem możliwości identyfikacji gatunku dominującego w badanej mieszance glonów.”

Cele pracy, jakie Doktorantka sobie postawiła są jasno sformułowane i obejmują zagadnienia oraz problemy bardzo aktualne i jeszcze nie do końca rozwiązane. Warto podkreślić, że ich realizacja wymagała dużego nakładu pracy i specjalistycznej wiedzy. Zaplanowanie odpowiedniego stanowiska pomiarowego w laboratorium wraz z przygotowaniem tak dużych ilości monokultur glonów nie jest sprawą prostą. Także organizacja oraz wykonanie pomiarów w czasie rejsów morskich nie należy do łatwych. Realizacja celów pracy, które śmiało można nazwać ambitnymi, wymaga także sprawnego operowania aparatem matematycznym oraz znajomości technik informatycznych.

Generalnie praca jest napisana poprawnym językiem i zagadnienia w niej prezentowane opisane są dosyć przejrzysto. Niestety, zawiera też kilka nieznaczących niedociągnięć (patrz **Kwestie dyskusyjne i uwagi krytyczne**), ale przy tak dużym przedsięwzięciu wprost nie sposób się ich ustrzec.

Problematyka badawcza i realizacja celów pracy

Otwierający pracę **rozdział 1** pt. „Wprowadzenie” rozpoczyna się od przedstawienia problemu jaki stanowią zakwity fitoplanktonu, głównie potencjalnie toksycznych cyjanobakterii oraz opisanie trudności badań tego bardzo istotnego składnika wody morskiej. Doktorantka słusznie zauważa, że na obecnym etapie badań najefektywniejszą metodą badań tych zakwitów wydaje się być teledetekcja satelitarna z wykorzystaniem zdalnej reflektancji. Rozdział ten zawiera także znaczną dawkę objaśnień terminów, które będą dalej używane w pracy. Na końcu został przedstawiony cel pracy wraz z informacją o badaniach podjętych dla jego realizacji. Uważam, że jest to dobry wstęp do zagadnień związanych z tematem pracy, prezentujący zarazem osiągnięcia w tej dziedzinie na świecie oraz w Polsce.

W **rozdziale 2** Doktorantka zaprezentowała podstawowe wielkości fizyczne stosowane w optycznych badaniach bezkontaktowych, tj. oświetlenie oraz reflektancję, a także scharakteryzowała rzeczywiste właściwości optyczne wody morskiej (współczynnik absorpcji i rozpraszania światła). W dalszej części rozdziału przedstawiła również podstawowe zależności pomiędzy zdalną reflektancją i rzeczywistymi właściwościami optycznymi wody morskiej. Poruszyła także problemy związane z metodyką wykonywania pomiarów rzeczywistych właściwości optycznych wody, w szczególności współczynnika rozpraszania światła. Zrobione jest to poprawnie i wskazuje na dobre zrozumienie przez Doktorantkę badanych zagadnień.

Rozdział 3 pod tytułem „Materiały i metody” zawiera charakterystykę wykorzystywanej do pomiarów aparatury badawczej oraz opisy metod wykorzystywanych podczas pomiarów przeprowadzonych, zarówno *in situ* jak i w warunkach laboratoryjnych. Ogólnie opisano w nim także model Hydrolight-Ecolight, który posłużył do generowania widm reflektancji zdalnej R_{rs} , a także metody statystyczne wykorzystane dalej w pracy do analizy danych. Treść tego rozdziału pozwala na zorientowanie się, w jak szerokim zakresie zostały przeprowadzone badania oraz jak dużą pracę Doktorantka musiała wykonać aby osiągnąć zamierzone cele pracy. Działania przez Nią podjęte obejmujące pomiary *in situ* w czasie rejsów badawczych po Bałtyku, eksperymenty w laboratorium, a także analizę danych i prace związane z modelowaniem są znaczne i pokazują jej duże zaangażowanie.

W **rozdziale 4** omówiono zmienność zmierzonych *in situ* charakterystyk spektralnych zdalnej reflektancji R_{rs} oraz możliwość ich wykorzystania w metodach bezkontaktowych wyznaczania stężenia fikocyjaniny. Przetestowano także, znane z literatury zależności pozwalające określić stężenie tego pigmentu. W dalszej części rozdziału korzystając z danych empirycznych zebranych w czasie rejsów po Zatoce Gdańskiej, opisano sposoby wyznaczania

najlepszej zależności stężenia fikocyjaniny od reflektancji zdalnej. W tym celu wykorzystano dwie metody. W pierwszej z nich, reflektancję zdalną określoną w wybranych kanałach spektralnych wykorzystano do opracowania algorytmu umożliwiającego wyznaczenie stężenia fikocyjaniny, opartego na odpowiednio dostosowanej funkcji analitycznej. W drugiej metodzie wykorzystano Analizę Głównych Składowych (PCA), gdzie do oceny stężenia fikocyjaniny wykorzystywano całe widmo mierzonej reflektancji zdalnej. Rezultaty zaprezentowane w tym rozdziale uważam za bardzo wartościowe. Doktorantka nie tylko analizuje zależności pomiędzy wartościami reflektancji dla różnych długości fal, w celu znalezienia zależności najbardziej optymalnych, możliwych do wykorzystania w przyszłości, ale także, co jest bardzo cenne, pokazuje jak można przystosować otrzymane zależności do danych uzyskiwanych z już pracujących satelitów. Nadaje to pracy charakter użyteczny i powoduje, że prezentowane w niej zależności nadają się do niemalże natychmiastowego wykorzystania. Szczególnie, że jak pokazuje Doktorantka, w zastosowaniu do wód Bałtyku generują one znacznie niższe błędy niż algorytmy opracowane przez innych autorów.

W **rozdziale 5** pracy Doktorantka podjęła próbę identyfikacji gatunku dominującego w mieszaninie glonów na podstawie analizy widm reflektancji zdalnej. W tym celu niezbędna jest znajomość widm reflektancji bezkontaktowej charakterystycznych dla poszczególnych gatunków. Pomiar w warunkach naturalnych *in situ* takich widm byłby prawie niemożliwy. Dlatego Doktorantka przeprowadziła pomiary radiacji w laboratorium, w zbiornikach wypełnionych wodą z monokulturami fitoplanktonu. Otrzymane w ten sposób widma reflektancji poszczególnych gatunków wykorzystane zostały do opracowania odpowiedniego modelu matematycznego. Model ten, pozwolił na znaczne rozszerzenie analizowanego zbioru danych o reflektancje charakteryzujące zakwity badanych gatunków glonów. Symulacje modelowe pozwoliły także na wygenerowanie odpowiednich zestawów danych z określonymi wzajemnymi proporcjami pomiędzy poszczególnymi grupami taksonomicznymi, które następnie zostały wykorzystane do oceny gatunku dominującego w mieszaninie. Szkoda tylko, że Doktorantka skoncentrowała się tylko na cyjanobakteriach, ale rozumiem że ich monitorowanie w wodach Bałtyku jest szczególnie ważne, między innymi z uwagi na ich potencjalną toksyczność. Zagadnienia zaprezentowane w tym rozdziale obejmują problemy bardzo aktualne. Zdalna detekcja poszczególnych grup fitoplanktonu jest przedmiotem intensywnych badań w wielu wiodących ośrodkach na świecie. Zaprezentowane w pracy rezultaty osiągnięte przez Doktorantkę na tym polu są niewątpliwie znaczące i wskazane byłoby ich opublikowanie w czasopiśmie naukowym o szerokim zasięgu międzynarodowym.

Kwestie dyskusyjne i uwagi krytyczne

Rozprawa mgr Moniki Woźniak napisana jest w sposób klarowny, umożliwiający zrozumienie zaprezentowanych przez Nią zagadnień naukowo-badawczych. Moim zdaniem Doktorantka nie ustrzegła się jednak szeregu błędów edytorskich, formalnych czy nietrafnych sformułowań. Nie stanowią one o merytorycznej wartości rozprawy, ani nie rzutują na moją ocenę końcową pracy. Poniżej prezentuję niektóre z nich.

Doktorantka często używa niezbyt poprawnych określeń: „współczynnik absorpcji substancji żółtych”, „współczynnik absorpcji fitoplanktonu”, „współczynnik absorpcji fikobilin”, „współczynnik rozpraszania wody morskiej”, „współczynnik rozpraszania cząstek fitoplanktonu” zamiast odpowiednio „współczynnik absorpcji światła przez substancje żółte”, „współczynnik absorpcji światła przez fitoplankton”, „współczynnik absorpcji światła przez fikobiliny”, „współczynnik rozpraszania światła przez wodę morską”, „współczynnik rozpraszania światła przez cząstki fitoplanktonu”.

Doktorantka używa dwóch różnych terminów do określenia tych samych składników wody: „optycznie czynne składniki” oraz „optycznie znaczące składniki”. Warto zdecydować się na jeden z nich i konsekwentnie używać tylko tego wybranego terminu. Dla wyjaśnienia muszę przyznać, że problemy z jednoznacznością nazwy ma nie tylko Autorka niniejszej dysertacji. W literaturze przedmiotu, także część autorów używa pierwszej nazwy innej drugiej.

Podobnie jest z określeniem „substancje żółte”, które w innym miejscu noszą nazwę „CDOM”, a czasami nawet „substancje żółte rozpuszczone” (str. 3). Tak jakby istniały jeszcze substancje żółte nierozpuszczone.

Na str. 7 niezbyt zrozumiałe jest zdanie „Współczynnik absorpcji wzrasta znacząco dla fal dłuższych niż 550 nm, a dla fal powyżej 700nm jest wielkością dominującą współczynnik osłabiania światła przez molekuły wody”. Jak widać np. z rys. 2.1 w tej pracy wartości współczynnika absorpcji światła przez wodę rosną już od około 420nm.

Zaprezentowane na rys. 2.1 wraz z opisem widmo absorpcji światła przez czystą wodę oparte zostało na starych badaniach. Dostępne są już znacznie nowsze rezultaty badań np. Morel i in. 2007 (Optical properties of the “clearest” natural Waters, 2007, Morel A., Gentili B., Claustre H., Babin M., Bricaud A., Ras J., Tieche F.). W zakresie krótkofalowym pokazują one pewne różnice w stosunku do widma wykorzystywanego przez Doktorantkę. Należy

jednak zaznaczyć, że wykorzystanie bardziej aktualnych widm absorpcji światła przez czystą wodę nie wpłynęłoby na rezultaty prezentowane w recenzowanej pracy, gdyż ten krótkofalowy zakres nie był wykorzystywany przez Doktorantkę do modelowania.

Na str. 7 Doktorantka używa określenia „kwasy humidowe” zamiast „kwasy huminowe”.

Na str. 9 przy prezentacji wartości współczynnika absorpcji światła niezbędne jest podanie jednostki tej wielkości.

Określenie „maksimum emisji fikocyjaniny” (str. 64) sugeruje, że emitowany jest pigment fikocyjanina. Należałoby napisać „maksimum emisji światła przez fikocyjaninę

Na str. 29 brakuje dokładniejszego opisu przeliczenia radiacji mierzonej pod powierzchnią wody na radiację nad powierzchnią. Jest to ważna czynność, a procedury nie są tak znowu standardowe jak pisze Doktorantka.

Należałoby poprawić schemat stanowiska przedstawiony na rys. 3.7. Jest na nim oczywista pomyłka, oba czujniki są skierowane w dół, podczas gdy jak wynika z dalszego opisu w pracy, jeden z radiometrów (mierzący oświetlenie) musi być skierowany czujnikiem do góry. Patrząc na rys. 3.7 nasuwa się jeszcze jedna uwaga. Przy analizach rezultatów pomiarów radiacji Doktorantka słusznie uwzględnia odbicie od dna zbiornika, natomiast nie był uwzględniony wpływ cienia dawanego przez ścianki zbiornika na pole światła w zbiorniku. Wydaje się, że dla niskich stężeń fitoplanktonu cień ten może wpływać na mierzoną radiację oddolną, a więc i na zdalną refleksję.

Na str. 36 w tabelicy 3.3 zaprezentowano optycznie istotne składniki użyte do modelowania właściwości optycznych wody z wykorzystaniem modelu Hydrolight. Doktorantka słusznie zaliczyła do nich czystą wodę, fitoplankton, CDOM oraz zawiesinę mineralną. Intryguje mnie natomiast, czy zawiesina organiczna związana z detrytem też była użyta do modelowania?

Doktorantka do modelowania widma absorpcji światła przez fitoplankton wykorzystuje dosyć prosty model opracowany przez Prieur i Sathyendranath (1981). Takie podejście nie jest błędne, ale istnieje znacznie lepszy model opracowany specjalnie dla wód Bałtyckich (p. np. Ficek i in. 2003). Jego użycie wymaga jednak dodatkowo znajomości koncentracji pigmentów fitoplanktonu oraz dosyć złożonych obliczeń z wykorzystaniem specjalnie opracowanego dla wód Bałtyku modelu DESAMBEM.

W pracy Doktorantka prezentuje dane o absorpcji światła przez CDOM tylko z literatury (np. str. 39). Czy w czasie prowadzonych eksperymentów były mierzone wartości tego współczynnika? Jak Doktorantka sądzi, czy dane z literatury są zbliżone do tych które wystąpiły w czasie przeprowadzanych eksperymentów ?

Na stronie 39 przy okazji opisu składników zawartych w wodzie użytych do modelowania Doktorantka wspomina o zawiesinie mineralnej. Intryguje mnie dlaczego brak jest wzmianki o pozostałych cząstkach substancji zawieszonych np. detrytu, czy NAP?

Na str. 40 przedstawiony jest opis modelowania oświetlenia zewnętrznego. Doktorantka wspomina, że w modelu oświetlenie jest rozdzielane na bezpośrednie oświetlenie promieniami słonecznymi oraz oświetlenie dyfuzyjne. Czy przy modelowaniu rezultatów osiągniętych w warunkach laboratoryjnych też było uwzględniane oświetlenie dyfuzyjne ?

Na str. 48 Doktorantka pisze, że „Maksimum widm występuje pomiędzy 550 a 560nm”. Na rysunku 4.5 możemy dostrzec, że maksimum to sięga aż do około 600nm. Dalej w tym samym akapicie ”Zaobserwować można także minimum lokalne w okolicy 660nm oraz maksimum lokalne w okolicy 680 nm, odpowiadające maksimum absorpcji oraz fluorescencji chl-a.” Maksimum lokalne w widmach zdalnej reflektancji zmierzonych przez Doktorantkę obserwowane jest także dla fal dłuższych, widzimy je nawet w okolicy 700nm.

Na rysunkach 4.12 i 4.13 dla różnych stężeń CDOM wartości reflektancji w zakresie krótkofalowym (około 400nm) są prawie identyczne. Jak wiadomo absorpcji przez CDOM ma największe wartości dla światła z zakresu krótkofalowego. Z porównania tych dwóch rysunków wynika, że absorpcja światła przez CDOM prawie nie wpływa na reflektancję.

Na str. 58 zaprezentowano porównanie wartości stężeń PC otrzymane w różnych akwenach. Doktorantka analizując dane zmierzone w różnych akwenach, zauważa bardzo duże różnice pomiędzy stężeniami PC zmierzonymi w Bałtyku, a stężeniami tego pigmentu w innych akwenach. Ponieważ stężenie fikocyjaniny nie jest wyznaczane rutynowo, i może być wyznaczane różnymi metodami. Rodzi się pytanie, czy metodyka stosowana we wspomnianych pracach była taka sama jak ta, którą wykorzystała Doktorantka niniejszej dysertacji?

Na str. 62 Doktorantka pisze „zauważono, że najwyższe wartości tego współczynnika są dla stosunków reflektancji z zakresu 640–660nm do reflektancji z zakresu 600–620 nm, tam

gdzie występuje maksimum absorpcji oraz emisji dla PC.” Na rys. 4.17 widzimy, że bardzo wysokie wartości tego współczynnika są od 590nm a nie od 600. Dalej w pracy Doktorantka wykorzystuje zakres poniżej 600nm (p. tabela 4.4).

W tabeli 4.4 Doktorantka analizuje reflektancję dla fal o długości powyżej 700nm. Dlaczego, skoro wcześniej (na stronie 59) podaje szereg argumentów przeciwko wykorzystywaniu fal z tego zakresu spektralnego.

Nie zgadzam się z założeniem ze str. 85: „Przyjęto, że właściwości optyczne monokultur fitoplanktonu odpowiadają właściwościom optycznym badanych gatunków w środowisku naturalnym.” Tak niestety nie zawsze jest, komórki fitoplanktonu hodowane w warunkach laboratoryjnych czasami różnią się kształtem i właściwościami optycznymi od tych występujących w naturze np. *Nodularia spumigena* w warunkach laboratoryjnych tworzy proste łańcuchy, natomiast w naturze są one spiralne.

Na stronie 87 Doktorantka pisze „Każdy z analizowanych gatunków charakteryzuje się innym składem i proporcjami barwników, co istotnie różnicuje absorpcje światła przez fitoplankton w różnych zakresach spektralnych.” W tym miejscu brakuje odnośnika do literatury, skąd to wiemy?

Mam pewne zastrzeżenie do jednego z wniosków końcowych zaprezentowanego na str. 112- „Zaproponowano metodykę laboratoryjnych pomiarów widm reflektancji zdalnej dla monokultur fitoplanktonu, pozwalającą na uzyskanie wzorcowych danych dla potrzeb identyfikacji gatunku dominującego”. Wniosek ten jest generalnie słuszny, należałoby jednak zaznaczyć, że identyfikowanie gatunku dominującego przy wykorzystaniu widm zmierzonych w laboratorium wymaga pewnej ostrożności. Ponieważ jak już wspomniałem, czasami obserwujemy różnice pomiędzy właściwościami optycznymi glonów hodowanymi w laboratorium, a występującymi w środowisku naturalnym.

Wnioski końcowe

Rolą recenzenta jest nie tylko wyszukanie niedociągnięć pracy, ale także wskazanie na jej mocne strony.

Doktorantka pokazała, że pomimo trudności wynikających ze złożoności optycznych charakterystyk wód Zatoki Gdańskiej istnieją realne możliwości zdalnego określania stężenia fikocyjaniny, barwnika który może być traktowany jako wskaźnik biomasy cyjanobakterii.

Dla tego wskaźnika opracowała pierwsze lokalne algorytmy oparte na funkcji wykorzystującej odpowiednio dobrane kanały spektralne w widmie reflektancji zdalnej. Algorytmy opracowała w dwóch wersjach, pierwszy wymagający wprowadzenia nowych kanałów spektralnych do radiometrów satelitarnych, oraz drugi dostosowany do kanałów spektralnych dostępnych w radiometrach już funkcjonujących satelitów. Moim zdaniem algorytmy te są bardzo istotnym osiągnięciem pracy. Dla drugiego z opracowanych algorytmów już teraz widzę zastosowanie np. w projekcie Satelitarna kontrola Morza Bałtyckiego.

Warte podkreślenia są także dokonania Doktorantki w zakresie identyfikacji gatunku dominującego w mieszaninie glonów. Doktorantka w oparciu o wyniki analizy modelowanych charakterystyk spektralnych reflektancji stwierdziła, że możliwa jest taka identyfikacja w oparciu o widmo zdalnej reflektancji charakterystyczne dla poszczególnych gatunków glonów oraz o indeks podobieństwa. Wyniki te także są bardzo interesujące i mam nadzieję, że znalezione zależności będą stosowane w praktyce i dalej rozwijane. Mam także nadzieję, że baza danych pomiarowych zostanie jeszcze rozszerzona w przyszłości o widma innych gatunków fitoplanktonu bałtyckiego, a przedstawione w recenzowanej pracy interesujące wyniki zostaną opublikowane w recenzowanych czasopismach.

Podsumowanie

Podsumowując należy stwierdzić, że recenzowana dysertacja stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Pani mgr Monika Woźniak pokazała, że potrafi organizować eksperymenty zarówno w laboratorium, jak i na morzu, a także prawidłowo interpretować rezultaty badań. Zaprezentowane w pracy zależności oraz modelowe opisy są bardzo wartościowe, a ambitne cele pracy zostały osiągnięte. Można więc stwierdzić, że **rozprawa przedstawiona do recenzji spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim w świetle obowiązujących przepisów. Dlatego wnioskuję o dopuszczenie Pani mgr Moniki Woźniak do kolejnych etapów postępowania o nadanie stopnia doktora.**

Z poważaniem,



Dariusz Ficek