



Sopot, 16 marca 2015

dr hab. inż. Mirosława Ostrowska, prof. nadzw. IO PAN  
Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk  
ul. Powstańców Warszawy 55  
81-712 Sopot

**Recenzja**  
**rozprawy doktorskiej autorstwa Pani mgr Moniki Woźniak**  
**pt. Identyfikacja grup organizmów dominujących w zakwitach fitoplanktonu w wodach**  
**Morza Bałtyckiego metodami niekontaktowymi**

Recenzja sporządzona została na prośbę Rady Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego.

**1. Informacja ogólna o pracy**

Przedstawiona do recenzji praca została wykonana przez mgr Monikę Woźniak w Zakładzie Oceanografii Fizycznej Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego pod opieką naukową prof. Adama Krężela i dr. hab. Mirosława Dareckiego. Jest ona podsumowaniem badań przeprowadzonych przez Doktorantkę we współpracy z Koleżankami i Kolegami z innych ośrodków oraz samodzielnie przeprowadzonych analiz zebranego materiału empirycznego.

Recenzowana rozprawa liczy ponad 150 stron i ma klasyczny typowy dla prac doktorskich układ: składa się z siedmiu rozdziałów, bibliografii, spisów stosowanych symboli i skrótów, rysunków i tablic oraz załączników. Warte podkreślenia jest niestosowanie powszechnie a ułatwiające lekturę pracy umieszczenie spisów skrótów i symboli.

W rozdziale pierwszym zawarte jest wprowadzenie w tematykę połączone z przedstawieniem i uzasadnieniem celów badawczych. Rozdział drugi przedstawia definicje, zwięzły opis i wzajemne relacje analizowanych wielkości fizycznych, natomiast stosowana aparatura, metody pomiarów laboratoryjnych i środowiskowych oraz matematyczne narzędzia analiz opisane są w rozdziale 3. Główny trzon pracy stanowią rozdziały 4 i 5 opisujące szczegółowo kolejne etapy realizacji założonych celów. W rozdziale 6 Autorka przedstawiła podsumowanie i wnioski wynikające z przedstawionych wcześniej analiz i zarysowała plan dalszych badań.

Spis literatury zawiera ponad 160 pozycji, w tym, co należy podkreślić, również z lat 2013 i 2104. Świadczy to bieżącym śledzeniu przez Doktorantkę literatury przedmiotu co pozwala sądzić, że uwzględniała w swoich analizach również najnowsze rezultaty badań innych autorów.

Praca napisana jest przejrzysto, jedynie w kilku miejscach Autorka zastosowała skróty myślowe nie ułatwiające zrozumienia niektórych fragmentów. Można też znaleźć w tekście nieliczne literówki czy błędy edytorskie. Doktorantka nie ustrzegła się też przed stosowaniem żargonu. Tego typu niedoskonałości, których trudno uniknąć w tak obszernym opracowaniu, nie wpływają na wartość merytoryczną pracy.

**2. Ocena celów rozprawy**

Jak wskazuje tytuł pracy, jej przedmiotem jest *Identyfikacja grup organizmów dominujących w zakwitach fitoplanktonu w wodach Morza Bałtyckiego metodami niekontaktowymi*. Coraz większe możliwości aparatury badawczej wiążące się z rozwojem technologicznym, ale też z opracowywaną przez naukowców nową metodologią, pozwalają na opracowanie kolejnych metod badawczych, bądź ulepszenie już istniejących. Niewątpliwą zaletą takich, stosowanych z powodzeniem od wielu lat w praktyce oceanologicznej, niekontaktowych metod jest możliwość zastąpienia przez nie czasochłonnych i niejednokrotnie kosztownych badań laboratoryjnych prób wody morskiej. Natomiast wykorzystanie rejestrowanej przez optyczne czujniki satelitarne zdalnej reflektancji czyni

z tych metod narzędzie odpowiednie do badań znacznie większych obszarów niż jest to możliwe ze statków czy boi pomiarowych. Reflektancja ta jest silnie związana z kształtowanymi przez istotne optycznie składniki wody morskiej rzeczywistymi właściwościami optycznymi akwenu, co umożliwia bezkontaktowe określenie stężenia różnych składników wody morskiej, głównie chlorofilu, czy też wielkości produkcji pierwotnej materii organicznej z precyzją niejednokrotnie nie odbiegającą od precyzji pomiarów laboratoryjnych. Listę tych, możliwych do określania na podstawie zdalnej reflektancji charakterystyk środowiska morskiego rozszerza Doktorantka, analizując w swojej pracy możliwość wykorzystania wpływu jaki mają na tą reflektancję zawarte w komórkach fitoplanktonu pigmenty fotosyntetyczne z grupy fikobilin do oceny obecności cyjanobakterii w toni wodnej. Stawia sobie przy tym następujące cele badawcze:

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.

Cele te oceniam jako ambitne, wpisujące się w główny nurt współczesnych badań oceanologicznych i stanowiące niewątpliwie złożone i oryginalne zadanie naukowe. Ich realizacja wymaga bogatego warsztatu badacza obejmującego nie tylko umiejętność dobrej organizacji badań empirycznych i to zarówno w laboratorium jak i na morzu, ale też znajomość matematycznych metod analizy danych.

### 3. Ocena realizacji celów rozprawy

Realizując pierwszy cel pracy Doktorantka zgromadziła: zbiór reflektancji wyznaczonych na podstawie pomiarów w warunkach naturalnych, reflektancje uzyskane dla wybranych gatunków cyjanobakterii w warunkach laboratoryjnych oraz bardzo obszerny zbiór reflektancji modelowych uzyskanych za pomocą modelu Hydrolight.

Jako pierwszy, Doktorantka dokładnie, a czasem nawet nadmiernie dokładnie przeanalizowała zbiór widm reflektancji wyznaczonych na podstawie pomiarów w wodach Zatoki Gdańskiej na tle szeregu określonych równolegle parametrów biooptycznych takich jak: stężenie fikobilin, chlorofilu *a*, liczba komórek cyjanobakterii, absorpcja CDOM dla  $\lambda = 400$  nm i w końcu głębokość dysku Secchiego. Analiza ta dobrze charakteryzuje zjawisko reflektancji w badanym akwenu nie jest jednak pozbawiona wniosków, które są dosyć oczywiste. Szczególnie stwierdzenie kończące rozdział 4.1, wiążące większe wartości tzw. głębokości dysku Secchiego z mniejszą zawartością substancji zawieszonych i rozpuszczonych w akwenu wydaje się dosyć mało odkrywcze.

Mam też drobną uwagę dotyczącą rejonu badań: na stronie 25 Autorka podaje, że wybrane pozycje stacji badawczych reprezentują obszary w rejonie m.in. otwartego morza, co wydaje mi się nieco dyskusyjne.

Kolejnym poddanym szczegółowym analizom zbiorem były widma reflektancji charakterystycznych dla wybranych gatunków cyjanobakterii uzyskane w warunkach laboratoryjnych. Te wyznaczone oddzielnie dla każdego z badanych gatunków widma autorka przeanalizowała w odniesieniu do kontrolowanego w trakcie eksperymentu stężenia chlorofilu *a*. Rozważyła zarówno wielkości bezwzględne wyznaczonych reflektancji, jak i unormowane, które pozwalają prześledzić subtelności w kształtach przebiegów spektralnych, i wskazała takie cechy tych widm, które są charakterystyczne jedynie dla wybranego gatunku.

Jako przedmiot badań Doktorantka wybrała trzy gatunki cyjanobakterii najczęściej występujące w wodach bałtyckich podczas zakwitów. Wybór ten nie budzi wątpliwości i jest dobrze przez Autorkę uzasadniony. Pragnę jedynie uzupełnić (odnosząc się do stwierdzeń ze str. 3), że *Anabaena* sp. jest

również nitkowatym gatunkiem cyjanobakterii zawierającym fikocyjaninę, a barwnik ten spotykamy nie "jedynie" u cyjanobakterii ale również w kryptofitach (patrz tablica 2.1). Wśród pigmentów znajdujących się w komórkach cyjanobakterii ważną rolę zajmuje też, pominięta na stronie 31, zeaksantyna uważana za karotenoidowy wskaźnik obecności tych gatunków. Ciekawi mnie, czy Doktorantka rozważała wpływ tego barwnika na widma reflektancji.

Widma reflektancji wyznaczone przez Autorkę dla wybranych gatunków glonów są cennym i interesującym wynikiem zaplanowanych i przeprowadzonych przez nią badań laboratoryjnych. Sądząc z zamieszczonego w pracy opisu Doktorantka starała się zachować dużą staranność i dokładnie przemyślała warunki przeprowadzanego eksperymentu. Jeżeli jednak pokusiłaby się w przyszłości na jego powtórzenie proponowałabym przede wszystkim zbadać jaki wpływ na reflektancję ma faza wzrostu badanych monokultur. Ponadto brakuje mi informacji o kondycji badanych przez kilka godzin organizmów, które znalazły się w trudniejszych niż hodowlane warunkach. Interesującym byłoby też zbadanie, czy w wyniku procesów adaptacyjnych nie uległy zmianie wzajemne proporcje barwników w komórkach badanych glonów. Nie wiadomo też czy woda stosowana w zbiornikach do przeprowadzenia eksperymentu była dejonizowana. Zapewne lepiej by było, gdyby odpowiedni poziom zasolenia osiągnął za pomocą soli o składzie podobnym jak w stosowanej odżywie a nie nieobecnego tam chlorku sodu. Chciałabym też zwrócić uwagę Autorki na skalę oświetleń na rysunku 3.8 przedstawiającym widmo oświetlenia stosowanego w czasie eksperymentu. Te wartości z pewnością nie dadzą się porównać do warunków, w których przeprowadzane były pomiary środowiskowe. Pragnę jednak podkreślić, że powyższe uwagi mają na celu jedynie ewentualne uzupełnienie w planowanych artykułach informacji tak, aby możliwe było powtórzenie pomiarów w ten sam kontrolowany sposób, co jest dobrą praktyką przy publikowaniu wyników analiz opracowanych na podstawie badań laboratoryjnych. Zamieszczone w pracy uzyskane laboratoryjnie widma reflektancji są wiarygodne, wykazują charakterystyczne różnice związane między innymi z różnym składem pigmentów w trzech badanych gatunkach cyjanobakterii i słusznym jest wniosek, że różnice te mogą być podstawą metod pozwalających na zdalne badanie składu gatunkowego glonów.

Trzecia grupa widm reflektancji to widma uzyskane z modelu Hydrolight symulujące obecność w akwenach naturalnych badanych monokultur oraz ich mieszanin. Staranna analiza tych widm zaowocowała kolejnym interesującym wynikiem, mianowicie analizą współczynnika parametryzującego funkcję fazową Fourniera-Foranda. Doktorantka stwierdziła, że różne wartości tego współczynnika przyjmowane z zakresu charakterystycznego dla zawiesiny mogą znacząco wpłynąć na kształt i wielkość modelowanego widma reflektancji. Aby ten wpływ ograniczyć opracowała spektralną zależność pozwalającą na przyjęcie, w miejsce zakładanej w modelu stałej wartości tego parametru, odpowiedniej dla analizowanej długości fali i zakładanego stężenia chlorofilu a. Stosując taką modyfikację Autorka obliczyła z pomocą modelu szereg widm reflektancji zarówno dla badanych monokultur jak i dla ich mieszanin. Widma te z powodzeniem posłużyły do realizacji kolejnych celów pracy.

Drugim celem pracy było opracowanie zdalnych metod określania stężenia fikocyjaniny na podstawie informacji zawartych w widmach reflektancji zdalnej. Dysponując pokaznym zbiorem widm reflektancji wyznaczonych na podstawie pomiarów w warunkach naturalnych wraz z równoległe oznaczonymi stężeniami fikocyjaniny Autorka oceniła możliwość zastosowania algorytmów opracowanych przez innych autorów w różnych wodach. Uzyskane wyniki zainspirowały ją do znalezienia kanałów spektralnych, które są najbardziej odpowiednie do zastosowania w takich zależnościach opracowanych dla wód bałtyckich.

Godne zauważenia i pochwały jest stosowanie przez Autorkę zlogarytmowanych wartości analizowanych parametrów, świadczy to o dobrym zrozumieniu przez nią charakteru analizowanych zjawisk i danych środowiskowych o dużym zakresie wartości. Jedynie rysunek 4.23 wymknął się Autorce spod kontroli, co zapewne jest dziełem przypadku. Zwracam też uwagę, że na niektórych rysunkach (np. 4.18) w opisach osi są logarytmy wartości prezentowanych wielkości. Znacznie wygodniejsze dla czytelnika jest stosowanie w opisach osi "odlogarytmowanych" wartości



zmiennych. Naturalnie takie opisywanie rysunków nie jest błędem, są one jedynie nieco trudniejsze do interpretacji.

Poszukując długości fali, dla których widmo zdalnej reflektancji najlepiej powiązane jest ze stężeniem fikocyjaniny Autorka uznała, że w dalszych analizach należy wybrać "potencjalnie lepszą i powszechnie stosowaną" postać zależności opartą na stosunku wartości tej reflektancji dla dwóch różnych długości fali. Chciałabym, żeby Autorka w czasie obrony bardziej rozwinęła to zagadnienie i przeanalizowała przyczyny, dla których zastosowanie takiego stosunku daje zdecydowanie lepsze wyniki niż zastosowanie bezwzględnych wartości reflektancji a nawet ich sum dla kilku długości fal.

Realizując drugi cel pracy autorka przeprowadziła wiele żmudnych analiz, które zaowocowały wybraniem 22 postaci zależności poddanych walidacji krzyżowej. Wydaje mi się, że te, istotne wyniki, które znalazły się w załączniku B, podobnie jak wyniki z załącznika A mogłyby znaleźć się w głównym tekście. Z pewnością tabele nie byłyby tak rozbudowane, gdyby Autorka przemyślała podawaną liczbę cyfr znaczących - w przypadku podawania wielkości błędu w zupełności wystarczyłoby dwie.

Ważnym wynikiem uzyskanym podczas realizacji omawianego celu pracy jest zastosowanie najlepszej z analizowanych zależności, opartej na liniowej kombinacji stosunków reflektancji dla kilku długości fal do opracowania, na podstawie obserwacji satelitarnych, mapy przedstawiającej rozkład przestrzenny stężenia fikocyjaniny na powierzchni morza Bałtyckiego. Warto podkreślić, że zastosowanie wyników uzyskanych w pracy doktorskiej w praktyce jako narzędzia do analiz, czy wręcz monitorowania środowiska morskiego nie jest powszechne w dziedzinie uprawianej przez Doktorantkę. Zaniepokoiło mnie jedynie stwierdzenie, że stężenie fikocyjaniny wynoszące ok.  $1 \text{ mg/m}^3$  mieści się w granicach błędu wykorzystanego algorytmu. Proszę więc doktorantkę o wyjaśnienie tej kwestii, zwłaszcza w kontekście rysunku 4.20, na którym są ujęte znacznie mniejsze wartości tych stężeń.

Dodatkowo Doktorantka zastosowała metodę analizy głównych składowych do oszacowania stężenia fikocyjaniny na podstawie widm reflektancji zdalnej zgromadzonych w rejonie Zatoki Gdańskiej. Zasyмуляowała również stosowanie tej metody w przypadku pomiarów jedynie w kilku kanałach spektralnych z poziomu satelity. Przeprowadzona weryfikacja wykazała, że metoda ta daje bardzo obiecujące wyniki i może znaleźć zastosowanie dla rejonów, dla których zgromadzony jest reprezentatywny zbiór danych „treningowych”. Hermetyczny opis samej metody głównych składowych w rozdziale poświęconym metodyce, jak i odwoływanie się do niewprowadzonych wcześniej pojęć przy przedstawianiu rezultatów jej zastosowania wskazuje, że nie jest to zdaniem Autorki podstawowa część pracy. Chcę jednak podkreślić, że uwaga odnosi się do tekstu zawartego w pracy, natomiast same analizy uzyskanych wyników zostały w tym fragmencie przeprowadzone z właściwą Doktorantce starannością.

Odnosząc się powyżej do realizacji drugiego celu pracy pozwoliłam sobie nieco zmodyfikować jego brzmienie, gdyż najwyraźniej Doktorantka nie doceniła swoich możliwości zakładając, że jedynie zidentyfikuje takie cechy widm reflektancji, które umożliwią określenie stężenia fikocyjaniny w akwenu. W pracy Autorka nie tylko zidentyfikowała te cechy ale także opracowała szereg wykorzystujących te zależności algorytmów, sprawdziła ich dokładność i stabilność oraz zastosowała je w praktyce.

Kolejnym, trzecim celem Autorki było opracowanie zdalnej metody identyfikowania organizmów dominujących w trakcie zakwitów fitoplanktonu. Realizację tego celu oparła na określonych laboratoryjnie widmach reflektancji charakterystycznych dla cyjanobakterii dominujących fitocenozę w czasie zakwitów i rezultatach modelowania przy zastosowaniu modelu Hydrolight. Uważam, że Doktorantka wykazała tu nie tylko umiejętności i sprawność obliczeniową ale przede wszystkim pomysłowość i odwagę w zastępowaniu danych empirycznych wiarygodnymi danymi modelowymi. Moim zdaniem analizy zostały przeprowadzone poprawnie i doprowadziły do zakładanych przez Autorkę wniosków. Przedstawione dogłębne i szczegółowe porównania wyników badań laboratoryjnych i modelowych wartości reflektancji, potwierdzają możliwość identyfikowania na ich podstawie składu mieszanin organizmów cyjanobakterii. W moim odczuciu wypełnia to

zadania postawione w ramach omawianego celu pracy, pozostawiając jednak pewien niedosyt, którego zaspokojenie, jak rozumiem Doktorantka przewiduje w dalszej pracy naukowej. Mam nadzieję, że w kolejnych etapach badań tego zagadnienia Autorka przeprowadzi pomiary laboratoryjne widm reflektancji w mieszaninach monokultur i porówna je z odpowiednimi przedstawionymi w pracy przebiegami uzyskanymi z modelu Hydrolight. Chciałabym też usłyszeć wyjaśnienie, czemu taka analiza nie została przedstawiona w pracy.

#### 4. Uwagi i wnioski końcowe

Jak już wcześniej wspominałam, dysertacja nie jest pozbawiona potknięć i nietrafnych sformułowań mogących prowokować uwagi polemiczne. Część z uwag zamieściłam podczas omawiania realizacji celów pracy traktując je raczej jako dyskusję naukową, bądź wskazówki, poniżej wymieniłam jeszcze kilka, które nie zostały uwzględnione w recenzji a mogą pomóc Doktorantce w przyszłej pracy.

1. Prawidłowy podział substancji zawieszonych w toni i pochodzących od nich składników w sumarycznej absorpcji światła zwykle stwarza trudności. O ile definicja cząstek NAP umieszczona pod wzorem 2.4 ujętych jako "cząstki nie będące fitoplanktonem" nie budzi sprzeciwu, o tyle rozwinięcie tego pojęcia na stronie 9 gubi zawieszone cząstki mineralne, które co prawda zwykle nie występują w ilościach znaczących w wodach Bałtyckich jednak formalnie nie należy o nich zapominać.
2. Pewną niezręcznością w kontekście tematyki pracy wydaje mi się rysunek 2.2, na którym nie ma widm absorpcji pigmentów z grupy fikobilin. Widma te zebrane na podstawie prac różnych autorów można znaleźć np. w monografii Woźniak Dera 2007, której brak w bibliografii. W pracy tej znajduje się też pełniejszy niż w Tabeli 2.1, opracowany na podstawie prac innych autorów wykaz pigmentów (wraz z podziałem ilościowym) znajdujących się w różnych grupach fitoplanktonu.
3. Dużą niewygodą dla czytelnika jest umieszczenie rysunków daleko od tekstu, w którym Autorka się do nich odnosi, w niektórych przypadkach rysunki znajdują się w innych podrozdziałach, co wydaje mi się sporym błędem edycyjnym.
4. Wymieniona na str. 29 pracownia nosi nazwę "Pracownia Biofizyki Morza".
5. W trakcie lektury spotkałam szereg nieprecyzyjnych sformułowań. Jako przykład podam opis rysunku 4.2. Nie wynika z niego wprost, czy na rysunku podane są średnie z pomiarów na wybranej stacji (wcześniej podana jest informacja, że na każdej stacji pomiary wykonywane były kilkukrotnie), czy też ze wszystkich (ilu?) stacji badanych danego dnia. Ta druga wersja wydaje mi się pewnym błędem ze względu na lokalny charakter zakwitów fitoplanktonu i dużą ich mozaikowość widoczną również na zamieszczonych w pracy zdjęciach satelitarnych. Brakuje też szerszej informacji statystycznej, mam na myśli np. odchylenia standardowe.

Pragnę jednak podkreślić, że żadna z powyższych uwag nie rzutuje na wysoką ocenę pracy i traktuję je jedynie jako garść dobrych rad, z którymi nie zawsze trzeba się zgodzić ale może warto wziąć je pod uwagę. Wymagają one odpowiedzi od Doktorantki jedynie w przypadku chęci podjęcia polemiki.

Doktorantka podjęła udaną próbę opracowania zdalnych metod określania, na podstawie pomiarów radiometrycznych, stężenia fikobilin będących wskaźnikiem obecności sinic w toni wodnej oraz identyfikacji wybranych gatunków w mieszaninie glonów. Tym samym zmierzyła się z zagadnieniami badawczymi, które wpisują się w ważny nurt współczesnej oceanologii, biorąc równocześnie udział w rozwoju nowoczesnych metod badawczych. Zastosowała przy tym szeroki wachlarz metod analitycznych i technik pomiarowych wykazując się również wiedzą teoretyczną niezbędną do realizacji zamierzonych celów oraz umiejętnością samodzielnego zaprojektowania prowadzonych badań eksperymentalnych. Uzyskane wyniki Autorka poddawała naukowej krytycznej dyskusji i w przypadku rezultatów, które nie satysfakcjonowały jej w pełni nie wahała się poszukiwać

nowych rozwiązań. Swoją dojrzałość naukową potwierdziła również formułując w podsumowaniu pracy strategię dalszych badań.

Reasumując, cele rozprawy oceniam jako ambitne i w moim odczuciu wyczerpująco zrealizowane a przedstawione w niej rezultaty i wnioski uważam za cenny wkład w rozwój nauki. W mojej opinii, **w świetle obowiązujących przepisów przedstawiona do recenzji praca spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim.** Życząc Doktorantce dalszych sukcesów w karierze naukowej wnoszę więc o **dopuszczenie jej do dalszych etapów przewodu doktorskiego.**

Jednocześnie **wniosuję o wyróżnienie przez Radę Wydziału Oceanografii i Geografii Uniwersytetu Gdańskiego** rozprawy doktorskiej Pani mgr Moniki Woźniak.

*Michał Oskowski*