

Dariusz Ficek
Instytut Fizyki
Akademia Pomorska
w Słupsku

Autoreferat w języku polskim i angielskim

Załącznik 2 do wniosku
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego

*Właściwości biooptyczne jezior Pomorza oraz ich porównanie
z właściwościami innych jezior i Morza Bałtyckiego*

Słupsk, 2013

Autoreferat w języku polskim:

1. Imię i Nazwisko:

Dariusz Ficek

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

Magister fizyki uzyskany w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Słupsku w roku **1987** za pracę pt. *Wykorzystanie szeregu trygonometrycznego do opisu sezonowych zmian temperatury wody w Rynnie Słupskiej.*

Doktor Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii, przyznany w roku **2000** przez Radę Naukową IO PAN w Sopocie, tytuł rozprawy: *Modelowanie wydajności kwantowej fotosyntezy w różnych akwenach morskich.*

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/ artystycznych:

od 01 10 1987 - do chwili obecnej - Akademia Pomorska w Słupsku (dawniej Wyższa Szkoła Pedagogiczna)

1987 - 1988 - asystent stażysta

1988- 2000 asystent (1988-1989 przeszkolenie wojskowe)

28.02.2000 - 28.02.2013 – adiunkt, 2003 - 2008 pełniący obowiązki Kierownika Zakładu Fizyki Środowiska w Instytucie Fizyki AP

2002 - 2005 - Kierownik Projektu Badawczego Zamawianego z Pakietu Projektów *Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku* nr PBZ-KBN 056/P04/2001

2010 - do chwili obecnej - Kierownik tematu SatBałtyk 3 w Projekcie Satelitarna kontrola środowiska Morza Bałtyckiego (*SatBałtyk*) POIG.01.01.02-22-011/09

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki:

a) tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego,

Właściwości biooptyczne jezior Pomorza oraz ich porównanie z właściwościami innych jezior i Morza Bałtyckiego

b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa),

Osiągnięcie naukowe stanowiące przedmiot publikacji zostało scharakteryzowane w następującej - stanowiącej główną część mojej dysertacji habilitacyjnej - rozprawie jednoautorskiej:

Dariusz Ficek, Właściwości biooptyczne jezior Pomorza oraz ich porównanie z właściwościami innych jezior i Morza Bałtyckiego, 2013, Rozprawy i Monografie 23/2013, Instytut Oceanologii PAN.

Dodatkowo część tych wyników została także opublikowana w dwóch następujących artykułach z moim pierwszym autorstwem:

Ficek D., Zapadka T., Dera J., 2011, *Remote sensing reflectance of Pomeranian lakes and the Baltic*, *Oceanologia* 2011, 53(4), 959-970.

Ficek D., Meler J., Zapadka T., Woźniak B., Dera J., 2012, *Inherent optical properties and remote sensing reflectance of Pomeranian lakes (Poland)*, *Oceanologia* 54(4), 611-630.

c) omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.

Przedmiotem wieloletnich przeprowadzonych przeze mnie badań były właściwości optyczne różnych akwenów naturalnych zawierające wody typu drugiego wg klasyfikacji wód Morela i Prieura (1977¹). Do takich akwenów, których właściwości są w dużym stopniu zdeterminowane przez czynniki allogenne zaliczane są m.in. rejon przybrzeżny mórz i oceanów i w zasadzie wszystkie wody jeziorne. Pomimo intensywnych badań właściwości optycznych wód naturalnych i zawartych w ich wodach optycznie aktywnych składników prowadzonych w wielu ośrodkach naukowych oceanograficznych i limnologicznych na świecie, problemy te pozostają zbadane jedynie w niewielkim stopniu. Rezultaty wielu badań pokazują bardzo wysokie i niezwykle złożone regionalne zróżnicowanie składu oraz właściwości optycznych wód naturalnych, a ich autorzy podkreślają zarazem zasadność prowadzenia takich badań w różnych regionach świata. Działania takie mają znaczenie nie tylko regionalne, ale wzbogacają także wiedzę o ekosystemach jeziornych funkcjonujących w różnych warunkach środowiskowych i klimatycznych w skali globalnej. Wody jezior Pomorza (a także Polski) pod względem właściwości biooptycznych jak do tej pory są bardzo słabo poznane. Co prawda w nielicznych pracach (patrz np.: Korzeniewski 1992, Oleksowicz 1988, Borowiak 2005, 2007) prezentowane są rezultaty w miarę systematycznych, kompleksowych badań koncentracji optycznie aktywnych składników (OAC), głównie kolorowych rozpuszczonych substancji organicznych oraz cząstek zawiesiny w tym fitoplanktonu. Jednakże rezultatów jednoczesnych badań koncentracji tych składników wraz z ich właściwościami optycznymi oraz generowanymi w obecności tych składników charakterystykami podwodnych pól światła praktycznie się nie spotyka. Odnosi się to w zasadzie do wszystkich jezior na obszarze Naszego Kraju. W nielicznych pracach prezentujących zagadnienia optyki jezior i innych akwenów śródlądowych Polski (patrz np. Choiński 2007), autorzy odwołują się często do pomiarów zrealizowanych poza granicami Kraju².

Wobec przedstawionych wyżej argumentów i aby częściowo wypełnić lukę w naszej wiedzy o jeziorach w Polsce, jako główny merytoryczny cel pracy przyjąłem: **Zbadanie i opisanie biooptycznych właściwości wód jezior środkowej części Pomorza.**

¹ Wymienieni autorzy wprowadzili też pojęcie wód pierwszego rodzaju (case 1 waters), do których zaliczyli wody o właściwościach optycznych zdeterminowanych głównie przez składniki pochodzenia autogenicznego.

² W 2011 roku ukazała się praca Borowiaka (Borowiak, 2011), której autor, mimo skromniejszych z punktu widzenia możliwości aparatury pomiarowej i analiz laboratoryjnych, znacząco poszerzył stan wiedzy o jeziorach Pomorza. Niestety, ze względu na termin jej opublikowania i długość cyklu wydawniczego, autor niniejszej pracy nie miał możliwości skorzystania z przedstawionych w niej rezultatów.

Warto jeszcze wyjaśnić, że wszystkie analizowane w tej pracy właściwości biooptyczne wód naturalnych i ich składników odnoszą się do światła widzialnego i jego niezbyt odległego otoczenia (bliskie: nadfiolet i podczerwień). Są to bowiem zakresy spektralne pokrywające się z położeniem szerokiego maksimum promieniowania Słońca, którego energia zasila lub jest czynnikiem determinującym bezpośrednio lub pośrednio większość procesów biologicznych, a także fizycznych i chemicznych warunkujących życie na Ziemi.

Wobec faktu, że monitorowanie stanu naturalnych zbiorników wodnych, prowadzonych metodami tradycyjnymi jest kosztowne i mało efektywne, współczesne metody badania środowiska wodnego oprócz technik tradycyjnych związanych z pomiarami bezpośrednim z pokładu jednostek pływających coraz częściej sięgają po metody zdalne, tj. teledetekcyjne (ang. *remote sensing*), wykorzystujące optyczne urządzenia pomiarowe umieszczane na samolotach i satelitach. Stawia to przed naukowcami szereg nowych wyzwań. Między innymi, z uwagi na zróżnicowanie regionalne właściwości biooptycznych wód naturalnych, wymagane jest opracowanie i ustalenie dla wód jezior Pomorza odpowiednich takich teledetekcyjnych algorytmów opartych na związkach matematycznych i półempirycznych modelach opisujących różne zależności pomiędzy zawartymi w wodzie optycznie aktywnymi składnikami materii a charakterystykami optycznymi tych wód. Dopiero takie algorytmy umożliwiają diagnozowanie - na podstawie wychodzącego z wody optycznego sygnału – stanu środowisk i składników tych wód. Dlatego sformułowałem dodatkowy cel praktyczny tej pracy: **opracowanie algorytmów pozwalających na określanie zawartości optycznie aktywnych składników wód badanych jezior Pomorza w oparciu o ich charakterystyki optyczne, w tym reflektancję zdalną.**

Realizacja tych celów wymagała rozwiązania szeregu problemów organizacyjnych i badawczych. Występujące licznie na Pomorzu jeziora są bardzo zróżnicowane, pod względem właściwości biooptycznych. W celu możliwie pełnego opisu ich właściwości do realizacji wymienionych wyżej celów wyselekcjonowałem 15 zróżnicowanych troficznie i optycznie jezior, reprezentatywnych dla Pomorza i w latach 2004- 2013 przeprowadziłem w nich kompleksowe i w miarę możliwości systematyczne badania empiryczne. Badania obejmowały pomiary *in situ* wybranych wielkości fizycznych, chemicznych i biologicznych oraz analizy laboratoryjne pobranych z tych jezior próbek wody. Wiele z takich pomiarów przeprowadzonych w akwenach *in situ* lub próbkach wody z jezior Pomorza *in vitro*, a o ile autorowi wiadomo, także dla jezior Polski, było wykonanych po raz pierwszy. Są to między innymi pomierzone bezpośrednio w toni wodnej badanych akwenów (*in situ*) spektralne rozkłady podwodnego pola światła (oświetlenia i radiacji) oraz współczynniki charakteryzujące optyczne właściwości ośrodka wodnego (m.in. współczynniki: osłabiania, absorpcji i całkowitego rozpraszania światła oraz rozpraszania światła wstecz). Po raz pierwszy dla jezior Polski pomierzono także widma współczynników absorpcji światła przez zawieszony w wodzie jeziornej cząstki materii zawieszony (widma absorpcji przez całość materii zawieszony, przez fitoplankton i cząstki nie-fitoplanktonowe) oraz wykorzystując metodę wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) określono skład występujących w fitoplanktonie pigmentów.

Wieloletnie, systematyczne i kompleksowe badania terenowe pozwoliły na zgromadzenie obszernego banku danych empirycznych. W oparciu o te dane w wyniku przeprowadzonych analiz statystycznych, ustaliłem postacie analityczne szeregu związków matematycznych, stanowiących podstawy różnych parametryzacji i półempirycznych modeli opisujących charakterystyki biooptyczne badanych wód. Najważniejsze osiągnięte rezultaty przeprowadzonych badań opisuję w - stanowiącej główną część mojej dysertacji habilitacyjnej - wymienionej wcześniej rozprawie jednoautorskiej (Dariusz Ficek, *Właściwości biooptyczne jezior Pomorza oraz ich porównanie z właściwościami innych jezior i Morza Bałtyckiego*, 2013, Rozprawy i Monografie 23/2013, Instytut Oceanologii PAN).

Rozdział pierwszy zawiera informacje ogólne, charakteryzujące tło geograficzne rejonu badań. Istotne, z punktu widzenia procesu habilitacyjnego są rezultaty przedstawione w dalszych rozdziałach monografii. Z uwagi na bardzo szeroki zakres przeprowadzonych badań i związaną z tym dużą różnorodność zastosowanych metod pomiarowych poszczególne rozdziały poprzedzone są częścią opisującą metodykę zastosowanych pomiarów.

Przeplływ i oddziaływanie światła w zbiornikach wodnych uwarunkowane są właściwościami optycznymi wody oraz właściwościami różnych optycznie aktywnych składników (OAC) zawartych w tej wodzie. Do tych OAC tradycyjnie zalicza się zawiesiny cząstek ciał stałych (SPM), chlorofil *a* i rozpuszczone kolorowe substancje organiczne (CDOM) (p. np. Dera, 2003; Woźniak i Dera, 2007). Zmienność koncentracji tych optycznie aktywnych składników i ich wpływ na przezroczystość (z_{SD}) badanych wód opisano w **rozdziale drugim**. W poszczególnych badanych jeziorach oraz dla wszystkich badanych jezior łącznie zostały określone koncentracje optycznie aktywnych składników wody, a także zakresy zmienności tych koncentracji. Łącznie dla wszystkich badanych jezior przedziały zarejestrowanych wartości koncentracji są następujące: chlorofilu *a*, C_a od 1,3 do 336,2 mg m⁻³ (liczba pomiarów $N = 873$), materii zawieszanej C_{SPM} od 0,8 do 256,3 g m⁻³ ($N = 616$) i wskaźnika koncentracji kolorowych rozpuszczonych substancji organicznych CDOM, tzn. współczynnika absorpcji światła przez CDOM, $a_{CDOM}(440)$ od 0,18 do 17,43 m⁻¹ ($N = 448$). Dla poszczególnych badanych jezior określono także wartość średnią i zakres zmienności przezroczystości wody (zdefiniowanej jako głębokość widzialności dysku Secchiego) z_{SD} od 0,2 do 7,0 m ($N = 409$) oraz współczynnika dyfuzyjnego osłabiania oświetlenia odgórnego w zakresie fotosyntetycznie użytecznej radiacji $K_{d,PAR}$ od 0,38 do 11,7 m ($N = 331$). Materiał empiryczny zebrany w trakcie wieloletnich systematycznych badań pozwolił na przedstawienie zmienności czasowej oraz przestrzennej wyżej wymienionych wielkości charakteryzujących właściwości wody w badanych akwenach. Dla wybranych jezior, reprezentujących różne typy troficzne wód, zaprezentowano zmiany zachodzące w cyklu rocznym oraz w profilu pionowym wody.

W rozdziale drugim przedstawiłem wyniki analiz statystycznych odnoszących się do spotykanych wartości i zakresów zmienności koncentracji podstawowych składników materii zawieszanej w wodzie badanych jezior, to jest cząstek organicznych C_{POM} i cząstek mineralnych C_{PIM} . Łącznie dla wszystkich badanych jezior przedziały zarejestrowanych wartości koncentracji są następujące: C_{POM} 0,6 do 63,0 mg m⁻³ (liczba pomiarów $N = 534$), natomiast C_{PIM} od 0,1 do 75,0 g m⁻³ ($N = 534$).

Następnie ustaliłem formuły matematyczne opisujące współzależności pomiędzy koncentracjami obu tych składników materii zawieszanej. Podałem przybliżone formuły uzyskane dla poszczególnych troficznych typów jezior oraz dla całości wód badanych jezior. Zależności te charakteryzują się wysokim współczynnikiem determinacji R^2 . Przykładowo dla zależności pomiędzy koncentracją materii C_{SPM} i C_{POM} wynosi on $R^2 \approx 0,97$, a dla zależności pomiędzy koncentracją materii zawieszanej materii C_{SPM} i C_{PIM} osiąga wartości $R^2 \approx 0,80$. Określiłem także względne koncentracje składników zawiesiny w stosunku do całkowitej masy zawieszonych cząstek SPM. W całkowitej masie cząstek zawieszonych w wodzie badanych jezior średnio około 78% zajmuje materia organiczna, a niecałe 22% nieorganiczna, natomiast chlorofil *a* stanowi około 0,3%.

Jak wyżej wspomniano zawarte w wodzie optycznie aktywne składniki mają istotny wpływ na propagację i zasięgi penetracji światła w zbiornikach wodnych. W rozdziale drugim przedstawiłem także zależności pomiędzy koncentracją składników OAC, a przezroczystością wody. Przeprowadzone analizy tych zależności pokazały, że dla ogółu jezior wszystkie trzy składniki OAC wpływają znacząco na zmiany tej przezroczystości. Natomiast w odniesieniu do poszczególnych jezior, z uwagi na stosunkowo niewielką zmienność (konserwatywność) stężenia CDOM, zmiany przezroczystości są spowodowane głównie zmianami koncentracji C_a i C_{SPM} . Uzyskano wysokie współczynniki determinacji R^2 dla zależności pomiędzy koncentracją chlorofilu C_a i głębokością Secchiego z_{SD} ($R^2 \approx 0,85$), oraz pomiędzy koncentracją materii zawieszanej C_{SPM} i głębokością Secchiego z_{SD} ($R^2 \approx 0,95$). Podobne zależności ale uzyskane dla zależności pomiędzy dyfuzyjnym współczynnikiem osłabiania oświetlenia odgórnego $K_{d,PAR}$ a koncentracjami chlorofilu *a*, C_a oraz dla zależności pomiędzy tym współczynnikiem a koncentracją materii zawieszanej C_{SPM} charakteryzują się niższymi wartościami współczynnika determinacji: C_a versus $K_{d,PAR}$ ($R^2 \approx 0,70$), oraz C_{SPM} versus $K_{d,PAR}$ ($R^2 \approx 0,77$).

W **rozdziale trzecim** przedstawiłem rezultaty badań koncentracji pigmentów występujących w fitoplanktonie jezior Pomorza przy wykorzystaniu metody wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC). Ogółem zidentyfikowano 25 rodzajów tych pigmentów. Dla jezior Polski badania takie nie były dotychczas prowadzone. Pigmenty występujące w komórkach fitoplanktonu pełnią w procesie fotosyntezy szereg niezwykle ważnych funkcji głównie absorbując i przekazując energię świetlną do centrum reakcji fotosyntezy, a także zapobiegając fotodestrukcji i fotoutlenianiu chlorofilu. W optyce naturalnych zbiorników wodnych znajomość ich koncentracji jest bardzo istotna ze względu na ich właściwości absorpcyjne. Pigmenty te obok fundamentalnej roli jaką pełnią w procesie fotosyntezy, wpływają także na kolor wody w akwie. Modyfikują bowiem podwodne pola światła w szczególności oddolny strumień promieniowania opuszczającego akwen. Analiza tak zmodyfikowanego przez pigmenty oddolnego strumienia światła pozwala na zdalne określenie koncentracji, a nawet składu gatunkowego fitoplanktonu w zbiornikach wodnych i wykorzystywana jest w teledetekcji. Oznaczenia koncentracji pigmentów zostały przeprowadzone w próbkach wody pobranych z 9 jezior Pomorza (ogółem 208 próbek). Dla badanych akwenów określono skład pigmentów fitoplanktonu oraz zależności pomiędzy koncentracjami głównych grup pigmentów. Wartości średnie względnych

koncentracji głównych grup pigmentów fitoplanktonu (to jest stosunków ich koncentracji do koncentracji chlorofilu *a*), wynoszą: około 5% chlorofil *b*, około 5% chlorofil *c*, około 18% karotenoidy fotosyntetyczne i około 28% karotenoidy fotoochronne. Analiza zmienności czasowych oraz w ich pionowych rozkładach pokazała, wyraźne zmiany koncentracji pigmentów w fitoplanktonie występujące w przebiegu rocznym oraz brak wyraźnych trendów w zmianach jego składu wraz ze zmianami głębokości.

Kluczową rolę w propagacji promieniowania słonecznego w toni wodnej odgrywają procesy absorpcji i rozpraszania światła. Procesy te w naturalnej wodzie związane są z oddziaływaniem fotonów z molekułami wody i materii w niej rozpuszczonej oraz z cząstkami materii zawieszanej w tej wodzie. Każdy z tych składników ma wpływ na proces absorpcji i rozpraszania światła, ale efekt tego oddziaływania w środowisku wodnym nie jest jednakowo istotny. Wpływ danego składnika zależy od długości fali światła, od koncentracji i rozmiarów jego molekuł lub cząstek oraz od jego składu chemicznego. W rezultacie zmianie ulega zarówno natężenie promieniowania wnikającego w głąb akwenu, jak i opuszczające akwen, oraz jego skład spektralny. Procesy oddziaływania światła słonecznego z najistotniejszymi z punktu widzenia biooptyki składnikami wody zostały opisane w trzech kolejnych rozdziałach monografii (4, 5 i 6).

W **rozdziale czwartym** scharakteryzowałem właściwości absorpcyjne kolorowej rozpuszczonej materii organicznej CDOM. W wodach naturalnych substancje te stanowią jeden z trzech głównych optycznie aktywnych składników wody. Ich właściwości absorpcyjne w zakresie UV i widzialnym powodują, że występując nawet w niewielkich koncentracjach w znaczący sposób wpływają na bezwzględne wartości energii i skład spektralny światła wnikającego do akwenu. Są zatem jednym z głównych czynników determinujących zachodzące w akwenu procesy biologiczne i chemiczne. Przedstawione w pracy analizy oparto na rezultatach odpowiednich pomiarów optycznych 585 próbek wody pobranych z 15 jezior Pomorza. Dla warstwy eufotycznej poszczególnych jezior oraz ogółu badanych jezior wyznaczono wartość średnią oraz zakres zmienności wartości współczynnika absorpcji $a_{\text{CDOM}}(440)$ (będący wskaźnikiem koncentracji CDOM) oraz parametru nachylenia widma absorpcji S_{CDOM} (będący wskaźnikiem chemicznego składu CDOM). Analizy te wykazały, że w przypadku większości badanych jezior, zwłaszcza tych, w których nie zachodzi znacząca wymiana wód powodowana przepływającą rzeką lub bezpośrednie połączenie z morzem, zachodzące w nich zmiany widm absorpcji przez CDOM są stosunkowo niewielkie. Jeziora te zachowują pewien charakterystyczny dla siebie zakres zmienności wartości współczynnika absorpcji $a_{\text{CDOM}}(440)$ oraz współczynnika nachylenia S_{CDOM} . Natomiast większa zmienność jest charakterystyczna dla jezior przybrzeżnych, i rejonów ujść rzecznych. Na skutek bezpośredniej wymiany wód w akwenach tych mogą bowiem pojawiać się znaczące fluktuacje składu CDOM. W zakończeniu rozdziału zaprezentowano także w zarysie charakterystyki sezonowych i przestrzennych zmienności analizowanych optycznych współczynników $a_{\text{CDOM}}(440)$ oraz S_{CDOM} .

W **rozdziale piątym** zaprezentowano rezultaty badań właściwości absorpcyjnych cząstek materii zawieszanej w wodzie. Cząstki te poprzez swoje optyczne właściwości absorpcyjne i rozpraszające,

silnie modyfikują zarówno transmitancję oświetlenia w głąb akwenu, czyli pole oświetleń odgórnych jak i radiację światła wychodzącego spod powierzchni akwenu. Mają więc istotne znaczenie dla wielu zachodzących w toni wodnej procesów oraz modyfikują wartości refleksyjności i skład spektralny radiacji oddolnej wykorzystywanych w optycznej teledetekcji składu substancji determinujących optyczne właściwości akwenów. Proces absorpcji światła przez fitoplankton i jego uwarunkowania środowiskowe w wodach drugiego rodzaju ze względu na ich złożoność są rzadko prezentowane i ciągle jeszcze nie są dobrze poznane. Precyzyjne wyznaczenie widm absorpcji światła przez cząsteczki zawieszone w wodzie stanowi więc jeden z aktualnych problemów optyki akwenów naturalnych. Przedstawione w tym rozdziale analizy przeprowadzono na podstawie wyników badań 584 widm absorpcji światła przez zawarte w wodzie jeziornej substancje zawieszony zmierzone w próbkach wody pobranych w latach 2004-2010 w 15 jeziorach Pomorza. Dla jezior Polski takie badania empiryczne oraz wnikliwe i szczegółowe analizy statystyczne ich wyników zostały wykonane po raz pierwszy. W szczególności analizowano eksperymentalne widma współczynników absorpcji światła przez ogół cząstek materii zawieszonyj w wodzie jeziornej i oddzielnie wartości tych współczynników dla dwóch głównych składników tej zawiesiny, tj. pigmentów fitoplanktonu oraz materii niefitoplanktonowej. Przeprowadzona analiza tych danych umożliwiła scharakteryzowanie najważniejszych cech spektralnych widm współczynników absorpcji światła przez te substancje. Z uwagi na duże zróżnicowanie wód typu drugiego, do których zalicza się także wody jeziorne, niemożliwe jest ustalenie dla tych wód ogólnych jednoznacznych ilościowych zależności pomiędzy współczynnikami optycznymi, takimi jak np. a_{SPM} , a_{NAP} i a_{pl} , a koncentracją chlorofilu a (C_a), czy koncentracją materii zawieszonyj w wodzie (C_{SPM}). Wynika to z faktu, że występujące w wodach jeziornych koncentracje składników allogennych wykazują silne i przypadkowe zróżnicowanie. Regionalne zróżnicowanie właściwości optycznych tych składników uniemożliwia zatem skonstruowanie modelu na tyle uniwersalnego, by przy jego pomocy można było scharakteryzować optyczne właściwości wód dowolnego akwenu. Dla takich wód konieczne jest tworzenie modeli lub parametryzacji regionalnych uwzględniających lokalną specyfikę składu i właściwości optycznych wody w akwenu. Konieczność uwzględnienia czynnika lokalnego potwierdzają przedstawione w monografii analizy. Próba zastosowania dostępnych w literaturze i często stosowanych parametryzacji do opisu właściwości absorpcyjnych zawiesin występujących w jeziorach Pomorza, prowadzi do rezultatów obarczonych dużym błędem. Dlatego w tej pracy przedstawiono oryginalny, półempiryczny model absorpcji światła przez cząstki materii zawieszonyj opracowany dla badanych wód Pomorza. Umożliwia on przybliżone oszacowanie współczynników absorpcji światła przez całość materii zawieszonyj oraz jej składowych przez pigmenty fitoplanktonu, i przez cząstki zawiesin niefitoplanktonowych na podstawie założonych jako znaną koncentrację chlorofilu a lub koncentrację materii zawieszonyj C_{SPM} . Jak pokazano w prezentowanej pracy wykorzystanie tego regionalnego modelu do wód badanych jezior daje znacznie lepsze rezultaty niż np. często stosowane przez wielu autorów, ale opracowanych dla wód innych akwenów, modele - do wyznaczenia widma absorpcji światła przez fitoplankton np. parametryzacje: właściwości optycznych wód opracowaną przez Bricaud i in. (1995) lub odpowiednie statystyczne zależności dotyczące współczynników absorpcji światła przez cząstki zawiesin zaproponowane w pracy Babina i in. (2003). W zakończeniu rozdziału jako

podsumowanie zaprezentowano także wstępnie opracowane parametryzacje całkowitych współczynników absorpcji światła w wodzie z uwzględnieniem modyfikacji tego współczynnika wnoszone przez zawarte w badanych akwenach składniki OAC.

W **rozdziale szóstym** scharakteryzowano optyczne właściwości rozpraszające samej wody oraz zawartych w niej optycznie aktywnych składników akwenu OAC. Procesy rozpraszania światła, podobnie jak i procesy absorpcji przez zawarte w wodzie substancje pełnią, kluczową rolę w formowaniu pól oświetleń odgórnego i oddolnego. To znaczy, że właściwości rozpraszające tych substancji modyfikują zarówno promieniowanie propagowane w głąb toni wodnej, jak i to wychodzące z akwenu. Całkowite współczynniki rozpraszania światła: sumaryczny b i rozpraszania światła wstecz b_b (podobnie jak i współczynnik absorpcji a) zależą od indywidualnych współczynników rozpraszania przez poszczególne składniki ośrodka tj. czystą wodę i zawarte w niej główne grupy składników. Ze względu na fakt, w zakresie widzialnym bezwzględne wartości współczynnika rozpraszania światła przez kolorowe rozpuszczone substancje organiczne CDOM są bardzo niskie, ich wpływ na sumaryczne rozpraszanie światła jest zazwyczaj pomijany (Haltrin, 2006). Przyjmuje się, że na rozpraszanie to oprócz wody wpływają głównie zawieszony w niej cząstki ciał stałych. Przeprowadzone na 11 jeziorach pomiary *in situ* pozwoliły na wyznaczenie współczynnika rozpraszania światła dla 9 długości fali $b(\lambda_i)$ (83 profile). Otrzymane rezultaty umożliwiły opracowanie dla badanych wód oryginalnego spektralnego modelu pozwalającego na wyznaczenie wartości spektralnych współczynników rozpraszania światła $b(\lambda)$, dla dowolnej długości fali z zakresu widzialnego w oparciu o znaną koncentrację materii zawieszony C_{SPM} lub chlorofilu $a C_a$. Natomiast współczynnik rozpraszania światła wstecz b_b ($\lambda=532\text{nm}$) mierzony był *in situ* tylko dla jednej długości fali $\lambda=532\text{nm}$. Ogółem w badanych jeziorach pomierzono 128 pionowych profili głębokościowych tego współczynnika. Dla jezior Polski takie badania rozpraszania światła w wodzie jeziornej *in situ* przy użyciu specjalistycznej aparatury wykonano po raz pierwszy. Zgromadzony materiał empiryczny umożliwił przeprowadzenie analiz zależności współczynnika rozpraszania wstecz od koncentracji cząstek C_{SPM} oraz koncentracji chlorofilu C_a . Zależności te opisano odpowiednimi równaniami. Przeprowadzone pomiary pokazały ponadto dużą zmienność przestrzenną współczynników b i b_b , zarówno w profilu pionowym, jak i wzdłuż zrealizowanych w wodach badanych jezior transektów.

W **rozdziale siódmym** zaprezentowano i przeanalizowano bogaty zbiór przykładów empirycznych spektralnych pól oświetleń odgórnych i oddolnych oraz powiązanych z nimi współczynników refleksyjności i transmitancji w badanych akwenach. Warunki świetlne panujące w akwenu są z jednej strony jednymi z głównych czynników warunkujących życie w akwenu, wpływając na szereg bardzo istotnych dla funkcjonowania tego ekosystemu procesów. Z drugiej zaś strony są one ważnym źródłem informacji wykorzystywanych m.in. do oceny metodami teledetekcyjnymi stanu charakterystyk strukturalnych (m.in. składu i koncentracji OAC) i zmian zachodzących w tym środowisku. Zagadnienie to, w dobie pomiarów zdalnych z wykorzystaniem teledetekcji satelitarnej lub z pokładu samolotu, jest bardzo aktualne. Z uwagi na dotychczasowy brak odpowiednich rezultatów pomiarów charakterystyk spektralnych pól światła wykonanych dla jezior Pomorza, a także istniejącej literatury opisującej te pola w jeziorach Polski zagadnienie to scharakteryzowano dość szczegółowo.

Przeprowadzone w jeziorach Pomorza odpowiednie pomiary optyczne (235 pomiarów) umożliwiły określenie szeregu charakterystycznych cech pionowych rozkładów spektralnych oświetlenia odgórnego, radiacji oddolnej oraz transmitancji oświetlenia. W oparciu o te pomiary wyznaczono widma współczynnika dyfuzyjnego osłabiania oświetlenia odgórnego w różnych typach wód jeziornych. Obserwowane podwodne pola oświetleń warunkowane są przez procesy absorpcji i rozpraszania, a te z kolei zależą od typu i koncentracji zawartych w wodzie optycznie aktywnych substancji (OAC). W dalszym ciągu rozdziału omówiono wpływ tych substancji na charakterystyki przestrzenne i spektralne podwodnych pól oświetleń w zróżnicowanych troficznie i optycznie wodach oraz przeanalizowano możliwości wykorzystania tego zmodyfikowanego pola światła do określania koncentracji OAC w badanych akwenach. Wielkością, którą wykorzystuje się do monitorowania stanu wody w naturalnych akwenach zdalnymi metodami optycznymi jest funkcja odbicia odgórnego oświetlenia dziennego, zwaną reflektancją $R(\lambda)$. Ze względu na różnice w kształcie widm tej reflektancji (pozycje oraz wartości jej minimów i maksimów) dla jezior Pomorza wyróżniono trzy typy widm. Pierwszy z nich posiadający szerokie maksimum reflektancji w zakresie 560 – 580 nm obserwowany jest w wodach z najniższą absorpcją światła przez CDOM oraz najniższymi koncentracjami chlorofilu a . W drugim typie widmo reflektancji w całym zakresie widmowym charakteryzuje się stosunkowo niskimi wartościami, i dwoma widocznymi maksimami występującymi dla fal o długości ok. 650 i 690 – 710 nm. Typ ten związany jest z wodami charakteryzującymi się ciemnymi barwami o bardzo wysokim współczynniku absorpcji światła przez CDOM. Natomiast widma reflektancji dla wód trzeciego typu zawsze wykazują trzy maksima: szerokie dla 560 - 580 nm, mniejsze dla ok. 650 nm i wyraźnie wykształcone dla 690 – 720 nm. Takie widma są charakterystyczne dla wód jeziornych z wysoką koncentracją chlorofilu a oraz niższym niż w typie drugim współczynniku absorpcji światła przez CDOM. Ponieważ widma reflektancji są wykorzystywane w algorytmach służących do zdalnego wyznaczania koncentracji składników OAC zawartych w wodzie jeziornej, w pracy przedstawiono kilka wybranych z literatury algorytmów i przetestowano je pod kątem możliwości wykorzystania ich do zdalnego wyznaczania koncentracji chlorofilu a , C_a , koncentracji materii zawieszanej C_{SPM} oraz współczynnika absorpcji światła przez CDOM $a_{CDOM}(440)$ w wodach jezior Pomorza. Jak pokazały rezultaty tych analiz, niektóre stworzone dla wód innych regionów półempiryczne modele i algorytmy, można także zastosować do badań wód jezior Pomorza. Konieczna jest jednak ich odpowiednia modyfikacja (dopasowanie do właściwości wód regionu) polegająca głównie na ustaleniu i wprowadzeniu do równań innych, wyznaczonych specjalnie dla jezior Pomorza wartości współczynników empirycznych. Zgromadzona baza danych empirycznych, zawierająca rezultaty pomiarów przeprowadzonych w wodach jezior Pomorza, umożliwiła stworzenie pakietu nowych, oryginalnych formuł, umożliwiających wyznaczenie koncentracji C_a , C_{SPM} oraz współczynnika $a_{CDOM}(440)$ w oparciu o wartości zdalnej reflektancji dla wybranych długości fal. Zastosowanie tych nowych formuł, do określania wyżej wymienionych składników OAC w wodzie jezior Pomorza umożliwia otrzymanie rezultatów obarczonych znacznie mniejszym błędem niż formuły opracowane przez różnych autorów dla wód innych rejonów. Wyznaczone dla tych formuł błędy statystyczne wynoszą: dla koncentracji C_a , $\sigma_+ \approx 36\%$, dla

koncentracji C_{SPM} , $\sigma_+ \approx 56\%$ oraz dla współczynnika $a_{CDOM}(440nm)$, $\sigma_+ \approx 46\%$.

W pracy przedstawiono także, oparte na przykładzie jeziora Pyszne, właściwości biooptyczne jezior humusowych tj. zawierających duże koncentracje CDOM. Jak pokazały badania w większości przypadków dane uzyskane w wyniku pomiarów w tym jeziorze są wyraźnie inne i wyróżniają się na tle danych z pozostałych badanych jezior. Nie przystają także do ogólnie panujących trendów zaobserwowanych w jeziorach zawierających mniejsze koncentracje CDOM. Charakterystyczne dla tych jezior o ciemnej barwie niewielkie wartości radiacji oddolnej, oraz zdalnej reflektancji powodują, że badanie tych obiektów metodami teledetekcji jest wyjątkowo złożone i wymaga dalszych badań. Wydaje się, że dla jezior tego typu należałoby opracować inne, uwzględniające ich specyficzne właściwości algorytmy, zależności i modele.

Reasumując, przedstawione w tej pracy rezultaty moich badań empirycznych oraz odpowiednich analiz statystycznych oraz modelowania mają duże znaczenie nie tylko z powodu, że po raz pierwszy charakteryzują tak szczegółowo pod względem właściwości biooptycznych jeziora Pomorza, a również dlatego że umożliwiają dokonanie porównań tych właściwości ze zmierzonymi w wodach innych regionów świata. Ze względu na obserwowane w naturze ogromne zróżnicowanie występujących w różnych regionach, charakterystycznych dla występujących tam akwenów naturalnych czynników środowiskowych, warunkujących koncentracje i właściwości różnych optycznie aktywnych składników OAC takie regionalne dane, zależności i modele są bardzo pożądane. Stanowią one uzupełnienie istniejącego stanu wiedzy o środowisku o informacje z nowych regionów, dotychczas pod tym kątem nie przebadanych.

W prezentowanej pracy przedstawiono także szereg dostępnych w literaturze danych i zależności charakteryzujących właściwości biooptyczne wód innych regionów. Do porównań wybrano głównie akweny położone na kontynencie europejskim oraz wody otaczające ten kontynent. W niektórych przypadkach, gdy brak było odpowiedniego materiału porównawczego, lub aby lepiej scharakteryzować obserwowaną w akwenach naturalnych zmienność analizowanej wielkości, odwoływano się do badań zrealizowanych w innych regionach świata. Przedstawione w pracy rezultaty pokazały podobieństwo właściwości badanych jezior Pomorza do jezior Europy Północnej (skandynawskich, estońskich i fińskich). Można przypuszczać, że wody jezior z innych regionów Polski mają podobne właściwości do badanych wód. Potwierdzenie tego wymaga jednak wykonania dalszych badań. Przy doborze materiału porównawczego szczególną uwagę zwrócono także na charakterystyki właściwości wód Morza Bałtyckiego. Szereg właściwości tego śródziemnego morza, szczególnie w strefie przybrzeżnej, rejonach ujść rzecznych oraz zatokach, wydaje się być bardzo zbliżone do tych obserwowanych w wodach jeziornych.

Z uwagi na duże zainteresowanie rezultatami przedstawionych wyżej badań, wykazane przez naukowców podczas prezentacji tych badań na międzynarodowych i krajowych konferencjach oraz ze względu na długi cykl wydawniczy monografii (rękopis złożono w maju 2011 roku, a książka ukazała się w maju 2013 roku) autor niniejszej monografii zdecydował się na opublikowanie części rezultatów z rozdziałów 6 i 7 w dwóch, stanowiących dopełnienie mojej dysertacji, wymienionych wyżej pracach

w czasopiśmie Oceanologia (Patrz pozycje II.A.25,26 w załączniku 3). Ponieważ w różnych ośrodkach na świecie prowadzone są intensywnie badania właściwości biooptycznych wód drugiego rodzaju, opublikowanie otrzymanych zależności w wydawnictwie o międzynarodowym zasięgu znacznie przyspieszyło i zwiększyło dostęp do osiągniętych rezultatów. Z uwagi na pomoc przy pomiarach oraz redagowaniu tekstu innych autorów dla tych prac do wniosku zostały załączone oświadczenia współautorów o ich wkładzie pracy włożonym w powstanie tych publikacji i zakresie wykonanych przez nich prac.

Reasumując moja rozprawa habilitacyjna jest pierwszą pracą tak kompleksowo przedstawiającą właściwości optyczne wód polskich jezior i ich porównanie z właściwościami optycznymi szerokiego spektrum innych akwenów naturalnych (innych jezior i akwenów bałtyckich) sklasyfikowanych jako wody drugiego rodzaju. W oparciu o rezultaty wykonanych przeze mnie wieloletnich i systematycznych badań, przy wykorzystaniu nowoczesnej aparatury, scharakteryzowałem właściwości biooptyczne tych naturalnych akwenów. Opracowałem dla nich szereg formuł i parametryzacji wiążących charakterystyki optyczne ich wód z zawartymi w nich koncentracjami materii rozpuszczonej i zawieszanej, organicznej i nieorganicznej. Scharakteryzowałem także właściwości absorpcyjne i rozpraszające składników wody najbardziej istotnych dla oddziaływania promieniowania słonecznego z materią. Opracowałem szereg półempirycznych modeli umożliwiających dla badanych wód wyznaczenie widm współczynników absorpcji i rozpraszania światła na podstawie znanych wymienionych wyżej ich właściwości biogeochemicznych. Ważnym elementem zaprezentowanym w pracy są także charakterystyki podwodnych pól oświetleń oraz algorytmy umożliwiające określanie zawartości optycznie aktywnych składników wody w ekosystemach jeziornych Pomorza na podstawie widm ich zdalnej reflektancji. Algorytmy te oraz oparte na nich modele mają zastosowanie praktyczne - można je wykorzystać jako podstawa zdalnego monitoringu wód. Należy podkreślić, że szereg z omówionych w pracy zagadnień odnoszących się do jezior Pomorza zostało zaprezentowane po raz pierwszy tak kompleksowo. Są to między innymi zagadnienia dotyczące składu pigmentów fitoplanktonu, charakterystyk spektralnych właściwości absorpcyjnych oraz rozpraszających składników OAC oraz propagacja promieniowania i podwodne pola oświetleń. W moim odczuciu, przytoczone wyżej argumenty w pełni dokumentują osiągnięcie wszystkich założonych celów moich badań. Wnoszą one znaczący wkład do współczesnej optyki wód drugiego rodzaju, a także stanowią ważny krok na drodze poznawania właściwości akwenów Polski i Świata.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

I. Rys historyczny i charakterystyka ogólna

Jestem absolwentem Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Słupsku (obecnie Akademia Pomorska). Moje zainteresowanie tematyką morską zaczęło się już w czasie studiów. Pod kierunkiem prof. dr hab. Henryka Renka napisałem pracę magisterską pt. " *Wykorzystanie szeregu trygonometrycznego do opisu sezonowych zmian temperatury wody w Rynnie Słupskiej.*" , którą obroniłem w 1987 roku uzyskując tytuł magistra fizyki.

Po ukończeniu studiów, zaproponowano mi stanowisko asystenta stażysty i pracę w Instytucie Fizyki WSP w Słupsku. W Instytucie tym, przechodząc kolejne etapy kariery naukowej (asystenta i adiunkta), pracuję do chwili obecnej. W okresie pracy w roku 1998 odbywałem przeszkolenie wojskowe absolwentów szkół wyższych. Aktualnie (od 2010) jestem wyznaczonym przez Rektora AP pełnomocnym przedstawicielem AP w zakresie działalności Konsorcjum Naukowego SatBałtyk i kierownikiem, realizowanej w Słupsku części projektu Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego.

Moja działalność naukowa od początku związana była głównie z fizyką i biofizyką morza. Specyfika badań środowiska morskiego powoduje, że efektywne jego badanie przekracza możliwości pojedynczego naukowca. Prowadzenie kompleksowych badań empirycznych na morzu z wykorzystaniem nowoczesnej i najczęściej unikalnej aparatury, opracowanie zebranego materiału, analiza danych wymaga ścisłej współpracy w większym gronie naukowców. Taką współpracę nawiązałem z zespołem naukowców z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk kierowanym przez Profesora Bogdana Woźniaka. Później, w latach dziewięćdziesiątych 20 wieku współpraca ta została rozszerzona o zespół biologów i optyków morza z Instytutu Oceanologii RAN w Moskwie (prof. Koblenz-Mishke O. I., prof. Kopelevich V.N., prof. Karabashev G. i in.) oraz zespół biofizyków z Uniwersytetu Łomonosowa w Moskwie (prof. Matorin D., prof. Rubin A. B. i in.). Współpraca z tymi zespołami dała mi możliwość aktywnego uczestniczenia w rozwiązywaniu aktualnych problemów badawczych z zakresu biooptyki morskiej i umożliwiła dostęp do bogatego banku danych empirycznych oraz gromadzenia nowych takich danych przez uczestnictwo we wspólnych rejsach morskich. Uczestnicząc w tej współpracy prowadziłem różne prace eksperymentalne zarówno *in vitro* jak i *in situ* z pokładu statku oraz byłem odpowiedzialny między innymi za prowadzenie analiz statystycznych zgromadzonego materiału empirycznego i opracowywanie modeli matematycznych różnych, stymulowanych światłem procesów zachodzących w fitoplanktonie morskim. Prace te zaowocowały opracowaniem obronionej przed Radą Naukową Instytutu Oceanologii PAN w roku 2000 i wyróżnioną przez tę Radę, rozprawy doktorskiej pt. „*Modelowanie wydajności kwantowej fotosyntezy w różnych akwenach morskich.*”. Moim promotorem był prof. dr hab. Bogdan Woźniak.

Po uzyskaniu stopnia naukowego Doktora Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii, już jako adiunkt kontynuowałam pracę w Instytucie Fizyki Akademii Pomorskiej. Praca w zespole kierowanym przez Profesora Bogdana Woźniaka sprzyjała dalszemu rozwojowi moich naukowych zainteresowań związanych z empirycznymi badaniami mechanizmów i procesów związanych z dopływem,

propagacją i wykorzystaniem promieniowania słonecznego w środowisku wodnym. Jednocześnie kontynuowałem także prace teoretyczne związane z badaniami z zakresu optyki i biofizyki morza, a w szczególności zagadnieniami związanymi z analizą i modelowaniem dopływu światła słonecznego do akwenów morskich i jego wykorzystaniem na energetyczne zasilanie ekosystemów poprzez zachodzący w fitoplanktonie proces fotosyntezy. W wyniku realizacji tych prac opracowanych zostało szereg nowych, empirycznie zweryfikowanych związków matematycznych lub statystycznych prawidłowości pomiędzy produkcją pierwotną, a właściwościami środowiska morskiego, oraz zależności pomiędzy różnymi właściwościami środowiskowymi warunkującymi fotosyntezę w morzu. Zostały one wykorzystane do opracowania dwu, unikalnych w skali światowej, „podsatelitarnych” modeli fotosyntezy w morzu (dla Oceanu i dla Morza Bałtyckiego). Modele te umożliwiają m.in. estymowanie wielkości wydajności kwantowej fotosyntezy i produkcji pierwotnej na różnych głębokościach w morzu, na podstawie takich danych wejściowych, jak oświetlenie powierzchni morza, powierzchniowa koncentracja chlorofilu *a* i temperatura powierzchniowa morza, to jest danych możliwych do określenia metodami *remote sensing*. Rezultaty tych prac wykorzystywane są m.in. w tworzonym aktualnie systemie satelitarnej kontroli Morza Bałtyckiego SatBałtyk (p. II.H.1 w załączniku 3).

Równolegle z wyżej opisanymi badaniami empirycznymi i modelowaniem procesów energetycznego zasilania ekosystemów morskich poprzez proces fotosyntezy zająłem się także podobną problematyką w odniesieniu do wód śródlądowych, zwłaszcza jezior. Głównym argumentem za podjęciem tego tematu było istnienie luki w obszarze wiedzy z zakresu biooptyki wód śródlądowych. Z drugiej strony wobec stosunkowo łatwego dostępu związanego z bliskością wielu jezior w rejonie mojego macierzystego laboratorium umiejscowionego w Słupsku, rozszerzenie moich badań na akweny śródlądowe było stosunkowo proste. Na realizację tych zamierzeń uzyskałem w 2008 roku od Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego środki na projekt badawczy zatytułowany *Charakterystyki biooptyczne jezior w środkowej części Pomorza* (patrz p. II.H.2 w załączniku 3). Uwieńczeniem moich wieloletnich badań eksperymentalnych i teoretycznych w tym kierunku są: unikalny bank danych, który posłużył do scharakteryzowania badanych jezior Pomorza, opracowane nowe oryginalne opisy teoretyczne (modelowe) i charakterystyki empiryczne właściwości biooptycznych wód jezior Pomorza. Najważniejsze wyniki tych badań zostały opublikowane w wymienionej wyżej monografii habilitacyjnej oraz w dwóch dopełniających ją artykułach, które przedkładam jako główne uzasadnienie ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego (patrz p. I.B w załączniku 3).

Osiągnięte rezultaty mojej dotychczasowej działalności przedstawione zostały w 47 publikacjach (26 w czasopiśmie z listy filadelfijskiej) ujętych w wykazie moich publikacji w punkcie I.B.B, II.A oraz zaprezentowane na wielu krajowych i międzynarodowych konferencjach (załącznik 3 p. II.J).

Wiele lat pracy w środowisku naukowców zajmujących się szeroko pojętymi badaniami akwenów naturalnych przyczyniła się do nawiązania różnych form współpracy z wyspecjalizowanymi

w różnych dyscyplinach naukowcami z różnych instytucji w kraju. W badaniach tych oprócz zespołu pracowników z Zakładu Fizyki Środowiska Akademii Pomorskiej w Słupsku (prof. B. Woźniak, dr Roman Majchrowski, dr Tomasz Zapadka i inni) uczestniczą głównie: zespół fizyków i biofizyków z Zakładu Fizyki Morza z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie (prof. J. Dera, prof. M. Ostrowska i inni), zespół oceanografów fizycznych z Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego (prof. A. Krężel i inni), zespół oceanografów i kartografów fizycznych z Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego (prof. K. Furmańczyk, prof. M. Stramska i inni), a ostatnio także osobiste kontakty z profesorem Adamem Choińskim z Uniwersytetu Adama Mickiewicza w Poznaniu. Formy tej współpracy ewoluowały wraz z upływem czasu. Początkowo współpraca odbywała się bez specjalnych umów. W roku 1999 Akademia Pomorska podpisała umowę o wzajemnej współpracy z IOPAN w Sopocie, współpraca ta trwa i rozwija się do dnia dzisiejszego. Realizacja wspólnych projektów spowodowała konieczność dalszego sformalizowania wzajemnych kontaktów. W latach 2001-2005 współpraca odbywała się w ramach realizacji wspólnego projektu DESAMBEM, w latach 2006-2009 w ramach Sieci Naukowej „Międzyinstytutowy Zespół Satelitarnych Obserwacji Środowiska Morskiego”, natomiast od roku 2009 i obecnie w ramach Konsorcjum Naukowego SatBałtyk (patrz pozycje II.H.1, II.H.3, III.E w załączniku 3). W strukturach tych projektów pełniłem funkcje kierownicze:

- w latach 2001-2005 - Kierownik realizowanego w Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku projektu badawczego zamawianego przez KBN (projekt badawczy zamawiany przez KBN, nr PBZ-KBN 056/P04/2001/03, „*Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku*”) z pakietu projektów DESAMBEM (nr PBZ-KBN 056/P04/2001). Ten pakiet projektów był realizowany przez zespół naukowców z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk, Instytutu Oceanografii UG i Instytutu Fizyki Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku, przy współpracy z Morskim Instytutem Rybackim w Gdyni. Całkowity budżet projektu wynosił 5 000 000 PLN, z czego 900 000 PLN przypadało na Akademię Pomorską;
- od roku 2010 - Kierownik, realizowanej w Akademii Pomorskiej w Słupsku części projektu SATBAŁTYK (projekt POIG, nr POIG.01.01.02-22-011/09, „*Satelitarna kontrola środowiska Morza Bałtyckiego (SatBałtyk)*”). Projekt realizowany przez Konsorcjum Naukowe SATBAŁTYK w skład którego wchodzi oprócz Akademii Pomorskiej w Słupsku, Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (koordynator), Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego oraz Instytut Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego. Całkowity budżet projektu wynosi ok. 40 000 000 PLN, z czego ok. 4 760 000 PLN przypada na Akademię Pomorską.

Moja działalność naukowa nie ogranicza się tylko do obszaru Polski. Od wielu lat współpracowałem i współpracuję także z zespołem biologów i optyków morza z Instytutu Oceanologii RAN w Moskwie (prof. O.J. Koblentz-Mishke, prof. V.N. Pelevin, prof. G. S. Karabashev i inni) oraz zespołem biofizyków z Uniwersytetu Łomonosowa w Moskwie (prof. S. I. Pogosyan, prof. D. N. Matorin, prof. A.B. Rubin i inni). W ramach współpracy naukowcy rosyjscy przyjeżdżali na wizyty

naukowe do Polski, także ja na zaproszenie naukowców z wyżej wymienionych instytucji przebywałem w Instytucie Oceanologii RAN w Moskwie (1998r), Instytucie Oceanologii RAN St. Petersburgu (2002) oraz Uniwersytecie im. Łomonosowa w Moskwie (2002). Jednym z efektów tej współpracy było uczestnictwo w trzech rejsach badawczych na statkach Rosyjskiej Akademii Nauk. Uczestniczenie w tych rejsach umożliwiło mi przeprowadzenie pomiarów różnych charakterystyk wód Atlantyckich. Pierwszy z rejsów na statku Profesor Ioffe zrealizowany w 2002 trwał około dwa miesiące i zaczynał się w Ushuaia (Argentyna) i kończył w Kalinigradzie (Rosja), drugi trzytygodniowy odbył się na tym samym statku w 2004 roku i zaczynał w Kalinigradzie, a kończył w Kangelussuaqu na Grenlandii. Trzeci z rejsów znacznie krótszy (około tygodnia) na statku Shtokmann zrealizowany był na Morzu Bałtyckim w 2005 roku. W latach 2008-2009 przebywałem także na rocznym stażu naukowym na University of Technology, Sydney (Australia). Wieloletnia współpraca naukowa, w formie wspólnych rejsów badawczych, wzajemnych wizyt naukowych oraz wspólnie organizowanych seminariów i konferencji, zaowocowała m.in. w postaci 5 oryginalnych publikacji (patrz p. II.A.4-7,12).

Ważnym elementem mojej działalności naukowej zarówno przed jak i po uzyskaniu stopnia doktora jest organizacja wspomnianej wyżej współpracy naukowej zarówno na forum krajowym jak i międzynarodowym. Na forum krajowym jest to organizacja współpracy pomiędzy różnymi polskimi placówkami naukowymi, w celu przebadania właściwości biooptycznych wód polskich jezior i rzek. W badaniach tych uczestniczą zespoły naukowe z różnych Instytutów Akademii Pomorskiej w Słupsku oraz zespoły z Instytutu Oceanologii PAN. Badania te swoim zasięgiem objęły nie tylko jeziora Pomorza, które zostały opisane w monografii habilitacyjnej oraz innych publikacjach (patrz p. I.B, II.A.21, 25-27, 37-38, 40-42, 44-45) oraz wystąpieniach (patrz p. II.J.9-10,12, III.B.26-27, 37), ale także jeziora Warmii i Mazur oraz jeziora tatrzańskie. Niektóre rezultaty pomiarów właściwości wód jezior tatrzańskich zostały już opublikowane oraz zaprezentowane na konferencjach (patrz p. II.A.24, II.J.11,13, III.B.38, 50 załącznik 3).

Moja praca w projektach DESAMBEM i SatBałyk przyczyniła się do tego, że współuczestniczyłem (jako członek komitetów naukowo-organizacyjnych) w organizacji siedmiu roboczych konferencji dotyczących tych projektów (patrz p. III.C.1-7 w załączniku 3).

W zakresie organizacji międzynarodowej naukowej współpracy moimi najważniejszymi osiągnięciami są:

- współuczestnictwo w projektowaniu programów naukowych trzech międzynarodowych rejsów badawczych, dwu na statku Professor Ioffe po Oceanie Atlantyckim zorganizowanych w ramach projektu "Meridian" i jednym na statku Professor Shtokman po Morzu Bałtyckim (patrz p. III.L.1-3 w załączniku 3),
- współuczestnictwo (jako członek komitetów naukowych i organizacyjnych) w organizacji i projektowaniu programów naukowych czterech międzynarodowych, organizowanych w Polsce konferencji z cyklu *Luminescence and photosynthesis of marine phytoplankton* (patrz p. III.C.1-4 w załączniku 3).

W czasie tych konferencji przewodniczyłem obradom naukowym, wygłosiłem wykłady plenarne (patrz p. II.J.1-13 w załączniku 3) oraz jako referent, autor lub współautor referatów i posterów występowałem na około 40 międzynarodowych i krajowych konferencjach (patrz p. II.J.14-25, III.B.1-76 w załączniku 3).

Moja wieloletnia działalność na forum krajowym oraz międzynarodowym przyczyniła się do poznania wielu naukowców oraz osób zajmujących się badaniami akwenów śródlądowych oraz morzami i oceanami. Obecnie wielu z nich jest moimi współpracownikami, kolegami i przyjaciółmi.

Ważnym moim osiągnięciem jest również moja działalność związana z popularyzacją nauki zarówno w środowisku lokalnym jak i krajowym. W tym obszarze byłem organizatorem różnego rodzaju imprez adresowanych do odbiorców z różnych środowisk i w różnym wieku (pikniki i festiwale naukowe, wykłady z pokazami dla dzieci i młodzieży, turnieje fizyczne dla młodzieży szkolnej). Na te imprezy przygotowywałem wykłady, prezentacje i doświadczenia (patrz p. III.I.3-9 w załączniku 3).

Swoje doświadczenia i kwalifikacje naukowe wykorzystuję z dużym powodzeniem także w dydaktyce. Przez wiele lat prowadziłem m.in. wykłady kursowe z podstaw fizyki, z fizyki środowiska, biofizyki, oceanografii fizycznej, informatyki, programowania i inne, oraz ćwiczenia i pracownie dla studentów nie tylko fizyki, ale także innych kierunków (geografia, biologia, matematyka i in.). Prowadziłem także wykłady na kursie The Baltic Sea Environment organizowany w ramach współpracy uniwersytetów w regionie Morza Bałtyckiego koordynowany przez Uniwersytet w Upsali (p. III.I.2 w załączniku 3) na Studium Doktoranckim IO PAN w Sopocie oraz wystąpień na seminariach w IOPAN w Sopocie (p. III.I.1 w załączniku 3).

Ponadto wypromowałem 10-ciu licencjantów oraz byłem recenzentem 9-ciu prac licencjackich i 9-ciu magisterskich. Byłem także koordynatorem praktyk studentów z Akademii Pomorskiej w Słupsku, dla 4 studentów z kierunku Fizyka o specjalności Fizyka Środowiska zorganizowałem praktyki na statku podczas rejsów po Morzu Bałtyckim, w których uczestniczyli pod moją opieką. Na uwagę zasługują także moje działania zmierzające do zaangażowania studentów do badań środowiska lokalnego. Część prowadzonych przeze mnie badań terenowych była tak zorganizowana by mogli w nich uczestniczyć także studenci. Z tej formy zajęć skorzystało kilkudziesięciu studentów Fizyki oraz Biologii Akademii Pomorskiej w Słupsku. Moja działalność dydaktyczna została wysoko oceniana zarówno przez przełożonych jak i przez studentów.

Obok wyżej wymienionych osiągnięć prowadziłem także działalność organizacyjną na terenie macierzystej uczelni. W latach 2003 - 2008 pełniłem funkcję Kierownika Zakładu Fizyki Środowiska w Instytucie Fizyki AP, w latach 2004 – 2008 byłem członkiem Komisji ds. Budżetu i Finansów, a od roku 2010 jestem członkiem Rektorskiej Komisji ds. Grantów Habilitacyjnych.

II. Unikalne elementy dorobku

Rezultaty moich dotychczasowych badań eksperymentalnych i teoretycznych wniosły wiele ważnych elementów do wiedzy w zakresie specyfiki i modelowania procesów dopływu i wykorzystania energii promieniowania słonecznego w różnych procesach zachodzących w zarówno w środowisku morskim jak i w innych akwenach naturalnych, w szczególności jeziorach.

Oprócz osiągnięć, wyżej opisanych, zawartych w mojej dysertacji habilitacyjnej, za najbardziej istotne elementy mojego dorobku uważam:

1. Opracowanie, w zespole wieloautorskim, modeli absorpcji światła przez pigmenty fitoplanktonu dla wód oceanicznych (Woźniak i in. 2000, 2002, Majchrowski i in. 2000 w wykazie publikacji poz. II.A.2, 5, 7, 8) oraz Bałtyku (Ficek i in. 2004, w wykazie publikacji poz. II.A.11).
2. Aktywny udział, w opracowaniach dwóch wieloautorskich oryginalnych modeli wydajności kwantowej fotosyntezy w morzu, sformułowanego w oparciu o uzasadnione przesłanki fizyczne. Pierwszym jest ogólny model wydajności tego procesu w różnych akwenach oceanicznych. Kluczową w tym modelu jest zależność wydajności kwantowej fotosyntezy na różnych głębokościach w morzu od czynników środowiskowych takich jak: warunki oświetleniowe, koncentracja biogenów azotowych i temperatura w morzu, oraz od troficzności morza, której wskaźnikiem ilościowym jest powierzchniowa koncentracja chlorofilu *a*. Zależność ta pozwala wyznaczyć wydajności kwantowej fotosyntezy na podstawie w/w danych (patrz Ficek 2001, Ficek i in. 2000, Woźniak i in. 2002, 2003 w wykazie publikacji poz. II.C, II.A.1,3,9). Drugim jest model wydajności kwantowej fotosyntezy w Bałtyku wykorzystywany jako podstawa teledetekcji produkcji pierwotnej w wodach tego morza. (Woźniak i in. 2007 w wykazie publikacji poz. II.A.18).
3. Udział w wieloautorskim opracowaniu podstaw teoretycznych oraz algorytmów użytecznych modelu światło – fotosynteza dla wód oceanicznych oraz Bałtyku. Algorytmy te były rozwijane w ramach programów DESAMBEM i SatBałtyk (Ficek 2001, Ficek i in. 2003, Woźniak i in. 2008, 2011, Darecki i in. 2008, w wykazie publikacji poz. II.C, II.A.1, II.A.10, II.A.19, II.A.20) i stanowią zasadniczy element tworzonego aktualnie systemu operacyjnego do zdalnych satelitarnych metod badania ekosystemów Bałtyku SatBałtyk.
4. Aktywny udział, w zespole wieloautorskim, w opracowaniu szeregu charakterystyk fotosyntetycznych fitoplanktonu, na podstawie pomiarów fluorescencji dokonanych z pomocą zanurzeniowych fluorymetrów (Ficek i in. 2000, Ostrowska i in. 2000, Matorin i in. 2004 w wykazie publikacji poz. II.A.4, 6, 12).
5. Wykazanie istotnego wpływu fikobilin na widmo absorpcji światła przez fitoplankton w Morzu Bałtyckim (Ficek i in. 2004, w wykazie publikacji poz. II.A.11).
6. Wykazanie istotnego wpływu mykosporynopodobnych aminokwasów (MAAs - mycosporine-like amino acids) na widmo absorpcji w jeziorach tatrzańskich tj w warunkach podwyższonego

poziomu ultrafioletu w promieniowaniu słonecznym docierającym do tych akwenów (Ficek i in. 2013 w wykazie publikacji poz. II.A.24).

7. Zebranie obszernych zbiorów danych empirycznych (zawartych w banku danych Zakładu Fizyki Środowiska Akademii Pomorskiej), odnoszących się do właściwości biooptycznych akwenów śródlądowych Pomorza, a także (w mniejszym zakresie) wybranych jezior mazurskich oraz tatrzańskich.
8. Organizacja i wyposażenie w nowoczesną aparaturę badawczą Laboratorium Zakładu Fizyki Środowiska AP w Słupsku. W ramach tego laboratorium zorganizowałem między innymi dwie działające rutynowo terenowe stacje aktynometryczne umiejscowione w Rekowie oraz w Słupsku.
9. Udział w utworzeniu obszernych zbiorów danych empirycznych (zawartych w bankach danych oceanograficznych AP oraz IO PAN), odnoszących się do absorpcji światła przez fitoplankton, produkcji pierwotnej oraz wydajności kwantowej procesu fotosyntezy w fitoplanktonie morskim.

Efektom mojej działalności naukowej jest 42 publikacji naukowych w tym 24 oryginalnych artykułów publikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, z tzw. "listy filadelfijskiej" oraz jedna monografia (patrz p. II.C załącznik 3). Ponadto jestem autorem lub współautorem ponad 25 opracowań niepublikowanych, pozostałych na prawach rękopisów w materiałach archiwalnych AP (patrz p. II.D).

Liczba cytowań moich prac naukowych wynosi 179 (bez autocytowań 116), wg bazy Web of Science i 290 wg Bazy Scopus a indeks Hirsha odpowiednio według wymienionych baz 8 i 11 (bez autocytowań).

Cytowana literatura:

- Babin M., Stramski D., Ferrari G., Claustre H., Bricaud A., Obolensky G., Hoepffner N., 2003, *Variations in the light absorption coefficients of phytoplankton, nonalgal particles, and dissolved organic matter in coastal waters around Europe*, Journal of Geophysical Research-Oceans, 108(C7), 3211.
- Borowiak D. (red.), 2007, *Jeziora Kaszubskiego Parku Krajobrazowego*. Ser. Bad. Limnol. 5, Wyd. KLUG, Gdańsk, 304.
- Borowiak D., 2005, *Visibility of Secchi disk in lakes of Eastern Pomerania: the role of chlorophyll a and turbidity*, Limnological Review 5, 3–9.
- Borowiak D., 2011, *Właściwości optyczne wód jeziornych Pomorza*, Gdańsk, 276.
- Bricaud A., Babin M., Morel A., Claustre H., 1995, *Variability in the chlorophyll-specific absorption-coefficients of natural phytoplankton - analysis and parameterisation*, Journal of Geophysical Research-Oceans, 100, 13321-13332.
- Choiński A., 2007, *Limnologia fizyczna Polski*, Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań, 547.

- Dera J., 2003, *Fizyka morza*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 541.
- Haltrin V.I., 2006, *Absorption and scattering of light in natural waters*. [w:] *Light Scattering Reviews Single and Multiple Light Scattering*, Kokhanovsky A.A. (red.), Praxis Publishing Ltd, Chichester, UK, 446-486.
- Korzeniewski K. (red.), 1992, *Zlewnia przymorskiej rzeki Łupawy i jej jeziora*, Pomorska Akademia Pedagogiczna w Słupsku, 295.
- Morel A., Prieur L., 1977, *Analysis of variations in ocean color*, *Limnol. Oceanogr.*, 22 (4), 709–722.
- Oleksowicz A.S., 1988, *Dynamika zbiorowisk glonów w troficznie zróżnicowanych jeziorach Pojezierza Kaszubskiego*, *Rozprawy UMK*, Toruń, 1-84.
- Woźniak B., Dera J., 2007, *Light absorption in sea water*, Springer, 453.

Dariusz Fiedk