

Mirosława Ostrowska
Instytut Oceanologii
Polskiej Akademii Nauk

Autoreferat w języku polskim i angielskim

*Załącznik 2 do wniosku
o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego*

*Biooptyczne modele fluorescencji fitoplanktonu
i jej wygaszania w morzach i oceanach*

Sopot, 2013

Autoreferat w języku polskim:

1. Imię i Nazwisko:

Mirosława Ostrowska

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

Magister inżynier telekomunikacji uzyskany na Politechnice Gdańskiej w roku **1986** za pracę pt. *Układ linearyzacji skali sonaru bocznego*

Doktor Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii, przyznany w roku **2000** przez Radę Naukową IO PAN w Sopocie, tytuł rozprawy: *Zastosowanie fluorescencyjnych metod do badań fotosyntezy w morzu*

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

od 02 01 1986 - do chwili obecnej - Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie

1986 - 1989 - stażysta

1990 – do chwili obecnej – asystent, starszy asystent, starszy specjalista, adiunkt

2002 - 2005 - Z-ca Kierownika Projektu Badawczego Zamawianego *Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku* nr PBZ-KBN 056/P04/2001

2010 - do chwili obecnej - Z-ca Kierownika Projektu *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,

Biooptyczne modele fluorescencji fitoplanktonu i jej wygaszania w morzach i oceanach

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

A część wstępna

W1. Woźniak B., Dera J., Ficek D., Ostrowska M., Majchrowski R., 2002, *Dependence of the photosynthesis quantum yield in oceans on environmental factors*, *Oceanologia* 44(4), 439-459

W2. Woźniak B., Ficek D., Ostrowska M., Majchrowski R., Dera J., 2007, *Quantum yield of photosynthesis in the Baltic: a new mathematical expression for remote sensing applications*, *Oceanologia* 49(4), 527-542

B część zasadnicza

Z1. Ostrowska M., 2011, *Dependence between the quantum yield of chlorophyll a fluorescence in marine phytoplankton and trophicity in low irradiance level*, *Optica Applicata* 41(3) 567-577

Z2. Ostrowska M., 2012a, *Model of the dependence of the sun-induced chlorophyll a fluorescence quantum yield on the environmental factors in the sea*, *Optics Express* 20(21), 23300-23317

Z3. Ostrowska M., 2012b, *Model dependences of the deactivation of phytoplankton pigment excitation energy on environmental conditions in the sea*, *Oceanologia* 54(4) 545-564

Z4. Ostrowska M., Woźniak B., Dera J., 2012, *Modelled quantum yields and energy efficiency of fluorescence, photosynthesis and heat production by phytoplankton in the World Ocean*, *Oceanologia* 54(4) 565-610

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

Moim głównym osiągnięciem naukowym jest opracowanie oryginalnych modelowych opisów matematycznych zależności wydajności fluorescencji fitoplanktonu i jej wygaszania w oceanach i morzach, od głównych czynników warunkujących te procesy w środowisku morskim. Modele te są wynikiem wieloletnich, empirycznych i teoretycznych badań wykorzystania energii promieniowania słonecznego na fotosyntezę materii organicznej i towarzyszące jej procesy w morzu.

Dotychczas badany w wielu ośrodkach naukowych na świecie i poznany w dostatecznym stopniu był jedynie najważniejszy dla życia na Ziemi proces fotosyntezy, w tym fotosyntezy w oceanach. Również w naszym zespole optyków i biofizyków morza opracowane zostały, z moim udziałem, dwa złożone modele wydajności kwantowej tego procesu, pierwszy ogólny dla Oceanu Światowego i drugi uwzględniający specyfikę akwenów bałtyckich. Modele te opierają się na ustalonych na podstawie bogatego materiału empirycznego i fizycznie uzasadnionych zależnościach wydajności fotosyntezy od najważniejszych czynników środowiskowych warunkujących ten proces. Natomiast nie zostały dotychczas opracowane modele i nie zbadano empirycznie z dostateczną wnikliwością dwu pozostałych procesów dezaktywacji wzbudzonych stanów molekuł pigmentów fitoplanktonu, to jest fluorescencji i bezpromienistego, niefotochemicznego ich wygaszania, czyli dysypacji w ciepło. Wyjątek stanowi praca Westberry'ego i Siegla (Westberry and Siegel 2003), w której przedstawione są wyniki jednoczesnych kompleksowych badań eksperymentalnych wszystkich tych trzech wspomnianych wyżej procesów, przeprowadzonych w północno – zachodniej części Morza Sargassowego w latach 1992 – 1997. Praca ta wnosi wiele cennych informacji naukowych odnoszących się do długoterminowych, zarówno czasowych jak i przestrzennych, prawidłowości zmian wydajności wszystkich tych trzech wymienionych procesów, a także relacji pomiędzy nimi, spowodowanych zróżnicowaniem warunków środowiskowych w morzu. Wyniki tej pracy nie wystarczają jednak do uogólnień statystycznych.

Wobec przedstawionych wyżej argumentów, jako główne cele merytoryczne – jeden nadrzędny i cztery cząstkowe - moich badań, przyjmę:

Cel główny: Rozszerzenie wiedzy o naturze i głównych uwarunkowaniach procesów dezaktywacji energii stanów wzbudzonych pigmentów fitoplanktonu generowanych przez absorpcję promieniowania słonecznego w morzu, czyli fluorescencji i procesów jej wygaszania fotochemicznego i niefotochemicznego.

Cząstkowe cele merytoryczne:

- 1) Zmodyfikowanie matematycznego modelowego opisu zależności wydajności kwantowej fotosyntezy fitoplanktonu od czynników środowiskowych w morzu dla celu zestawień budżetu wykorzystania energii światła słonecznego absorbowanej przez fitoplankton na różne procesy, w różnych warunkach środowiskowych spotykanych w morzach.
- 2) Zebranie odpowiednich danych empirycznych charakteryzujących wydajności fluorescencji fitoplanktonu i jej główne uwarunkowania spotykane w różnych rejonach morskich i oceanicznych, w różnych sezonach i na różnych głębokościach; dokonanie analiz statystycznych tych danych i ustalenie matematycznego modelowego opisu zależności wydajności kwantowej fluorescencji chlorofilu od czynników środowiskowych w morzu.

- 3) Ustalenie matematycznego modelowego opisu zależności wydajności kwantowej procesów bezpromienistej niefotochemicznej dezaktywacji wzbudzonych stanów molekuł pigmentów fitoplanktonu od czynników środowiskowych w morzu.
- 4) Scharakteryzowanie ilościowego zróżnicowania elementów bilansu wykorzystania energii światła słonecznego absorbowanego przez fitoplankton, na procesy fluorescencji, fotosyntezy i produkcji ciepła w poszczególnych typowych warunkach panujących w oceanach i morzach, tj. w różnych strefach klimatycznych, w różnych sezonach roku i na różnych głębokościach.

Wszystkie wymienione wyżej cele zostały osiągnięte co zostało udokumentowane w zbiorze artykułów opublikowanych w latach 2002 – 2012 w czasopiśmie z tzw. listy filadelfijskiej, które w mojej ocenie mogą być traktowane jako spójna rozprawa, opatrzona tytułem *Biooptyczne modele fluorescencji fitoplanktonu i jej wygaszania w morzach i oceanach*.

Dwie pierwsze z tych prac, będące częścią wstępną rozprawy, były inspiracją i punktem startowym do dalszych badań uwieńczonych wynikami opublikowanymi w kolejnych 4 pracach, składających się na część zasadniczą rozprawy. Wspomniana część wstępna, złożona z dwóch artykułów wieloautorskich, zawiera dwa matematyczne modele fotosyntezy w morzu (dla Oceanu i dla Bałtyku), unikalne w skali światowej. Ze względu na swoją złożoność, powstały one w wyniku szeroko zakrojonych badań i wysiłku całego zespołu naukowego, w którym pracuję i stanowią naszą cenną wspólną własność intelektualną. Zarówno w odczuciu moim jak i moich kolegów współautorów, wykorzystanie tych artykułów jako wprowadzenia w mojej rozprawie jest w pełni uzasadnione. Tym bardziej, że modelowanie fotosyntezy stanowiło dla mnie punkt startowy do modelowania wszystkich pozostałych sposobów wykorzystania energii wzbudzeń pigmentów fitoplanktonu.

Natomiast zasadnicza część rozprawy, na którą składają się trzy artykuły wyłącznie mojego autorstwa i jeden wspólny, ze mną jako pierwszym autorem, stanowi praktycznie mój wyłączny własny dorobek.

Poniżej przedstawiam w zarysie treść ww. artykułów składających się na rozprawę.

W artykule W1 (*Dependence of the photosynthesis quantum yield in oceans on environmental factors*), przedstawiono wspomniany już model wydajności kwantowej fotosyntezy w morzu, sformułowany w oparciu o uzasadnione przesłanki fizyczne, uniwersalny dla Oceanu Światowego (to jest dla szerokiego przedziału warunków środowiskowych spotykanych w naturze). Ma on charakter modelu fizycznego, w którym wielkości stałe modelu wyznaczono na podstawie analiz statystycznych materiału empirycznego. Kluczowym elementem tego modelu jest zależność wydajności kwantowej fotosyntezy na różnych głębokościach w morzu od czterech głównych czynników środowiskowych warunkujących ten proces, tj.: od oświetlenia, koncentracji biogenów, temperatury i troficzności morza, której wskaźnikiem ilościowym jest powierzchniowa koncentracja chlorofilu *a*. Przyjęliśmy przy tym, że wydajność kwantowa fotosyntezy, będąca złożoną funkcją czterech ww. zmiennych czynników środowiskowych, daje się wyrazić iloczynem teoretycznie maksymalnej wydajności kwantowej ($\Phi_{MAX}=0,125$ atom C·kwant⁻¹ lub $\Phi_{MAX}= 1$ Ein·Ein⁻¹) i sześciu mniejszych od jedności bezwymiarowych czynników ($\Phi = \Phi_{MAX} \cdot f_a \cdot f_{\Delta} \cdot f_c(N) \cdot f_c(\tau) \cdot f_c(PAR_{inh}) \cdot f_{E,t}$), z których każdy zależy od jednego lub najwyżej dwóch z tych parametrów środowiskowych. Tymi

bezwymiarowymi czynnikami są: f_a - czynnik niefotosyntetycznych pigmentów, opisujący zmniejszenie rzeczywistej wydajności kwantowej fotosyntezy w stosunku do teoretycznie możliwej, związane z działaniem pigmentów fotoochronnych nie przekazujących swojej energii wzbudzenia do centrów reakcyjnych fotosyntezy; f_{Δ} - tzw. czynnik nieefektywności (ang. inefficiencies factor – wg Kolber i Falkowski, 1993) przekazywania energii i rekombinacji ładunków w centrach fotosyntetycznych; $f_c = f_{c(N)} \cdot f_c(\tau) \cdot f_{c(PARinh)}$ - czynnik opisujący względną liczbę funkcjonujących centrów reakcyjnych (RC), to znaczy stosunek ilości funkcjonujących RC (w których zachodzą reakcje fotosyntetyczne), do sumy RC funkcjonujących i niefunkcjonujących. Czynnik ten jest iloczynem: $f_{c(N)}$ - czynnika uwzględniającego wpływ koncentracji biogenów w środowisku; $f_c(\tau)$ - czynnika opisującego związek z głębokością optyczną τ w morzu; $f_{c(PARinh)}$ - czynnika opisującego wpływ zjawiska inhibicji świetlnej na ilość funkcjonujących centrów. Ostatnim jest $f_{E,t}$ - czynnik opisujący zależność wydajności kwantowej fotosyntezy od poziomu oświetlenia i temperatury w morzu, zwany także „krzywą świetlną wydajności fotosyntezy” dla określonej temperatury. W pracy tej przedstawione są także wyniki empirycznej weryfikacji tego modelu, poprzez porównanie wartości wydajności estymowanych z pomocą modelu z wartościami wyznaczonymi empirycznie w różnych rejonach Oceanu Światowego. Weryfikacja ta pokazuje, że prezentowany w tej pracy model znacznie lepiej estymuje wydajności fotosyntezy w morzu niż modele opracowane wcześniej (np. Woźniak i in. 1992 i Morel i in. 1996).

W artykule W2. (*Quantum yield of photosynthesis in the Baltic: a new mathematical expression for remote sensing applications*), opisany jest oryginalny model wydajności kwantowej fotosyntezy fitoplanktonu w Bałtyku. Został on sformułowany w oparciu o uzasadnione przesłanki fizyczne, pod kątem przydatności dla celów teledetekcji satelitarnej Bałtyku. Stałe wielkości tego modelu wyznaczono na podstawie analiz statystycznych materiału empirycznego zebranego w różnych rejonach Bałtyku. Podobnie jak w przypadku omówionego wyżej modelu dla Oceanu, również tu kluczową rolę odgrywa zależność wydajności kwantowej fotosyntezy na różnych głębokościach w morzu od czynników środowiskowych warunkujących ten proces. Liczba tych czynników środowiskowych, stanowiących zmienne niezależne modelu, została jednak zredukowana do trzech. Są to mianowicie: warunki oświetleniowe, temperatura powierzchniowa morza oraz troficzność akwenu, czyli czynniki, które ilościowo mogą być estymowane na podstawie obserwacji zdanych, np. rejestracji satelitarnych. Wyeliminowano zatem ze zbioru danych wejściowych koncentrację biogenów w morzu, której na obecnym etapie badań nie można określić na podstawie bezpośrednich obserwacji satelitarnych. Na podstawie analiz statystycznych przyjęto, że koncentracja biogenów w Bałtyku jest silnie powiązana z troficznością akwenu (tj. koncentracją chlorofilu a w warstwie powierzchniowej $C_a(0)$). W związku z tym, jako czynnik opisujący wpływ koncentracji biogenów na liczbę funkcjonujących centrów reakcji RC wprowadzono czynnik $f_{c(C_a(0))}$ opisujący wpływ troficzności akwenu $C_a(0)$ na tę liczbę. W konsekwencji pozwoliło to zapisać wyrażenie na wydajność kwantową fotosyntezy w Bałtyku w sposób zbliżony do wyrażenia na tę wydajność w Oceanie, w postaci: $\Phi = \Phi_{MAX} \cdot f_a \cdot f_{\Delta} \cdot f_{c(C_a(0))} \cdot f_{c(PARinh)} \cdot f_{E,t}$, to jest jako iloczyn jej maksymalnej

wydajności kwantowej i tym razem pięciu, a nie sześciu, mniejszych od jednościi czynników bezwymiarowych.

Dwa pierwsze artykuły zasadniczej części mojej rozprawy, Z1 i Z2, dokumentują osiągnięcie dwóch pierwszych celów cząstkowych przyjętych do realizacji. Omówiono tam zebrany materiał empiryczny oraz przedstawiono analizy statystyczne różnych charakterystyk procesów zachodzących w fitoplanktonie morskim, stymulowanych światłem. Wyniki tych analiz posłużyły następnie do opracowania zaprezentowanych tam modeli matematycznych tych procesów. Udokumentowano tam również założenia modeli i modyfikacje wcześniejszych modeli wydajności kwantowej fotosyntezy. W rezultacie ustalono aparat matematyczny modelowego opisu zależności wydajności kwantowej fluorescencji chlorofilu *a* od czynników środowiskowych w morzu.

W artykule Z1 (*Dependence between the quantum yield of chlorophyll *a* fluorescence in marine phytoplankton and trophicity in low irradiance level*) zaprezentowano wyniki analiz i modelowania matematycznego zależności względnej kwantowej wydajności fluorescencji chlorofilu *a* w fitoplanktonie morskim od troficznosci akwenu, za wskaźnik której przyjmowano koncentrację chlorofilu *a*. Do analiz tych użyto danych empirycznych uzyskanych za pomocą pomiarów sztucznie wzbudzonej fluorescencji fitoplanktonu fluorymetrem FluoroProbe firmy BBE Moldaenke. Zaprezentowane w tym artykule analizy potwierdziły istnienie ścisłego związku pomiędzy wartościami kwantowej wydajności fluorescencji fitoplanktonu, a troficznoscią wody morskiej. Wykazano, że zależność wydajności fluorescencji fitoplanktonu od troficznosci, za indeks której przyjęto tu koncentrację chlorofilu *a* w wodzie morskiej ma charakter malejący. Jest to więc zachowanie odwrotne niż w przypadku wyznaczonej zależności wydajności fotosyntezy od troficznosci akwenu. Przeprowadzone analizy statystyczne zebranych danych eksperymentalnych pozwoliły także ustalić przybliżone, modelowe wyrażenia matematyczne opisujące zależności wydajności fluorescencji dla niskich poziomów oświetlenia od koncentracji chlorofilu *a* w wodzie morskiej. Wyrażenia te dobrze estymują zależności tej wydajności od koncentracji chlorofilu, o czym świadczą stosunkowo małe błędy estymacji.

W artykule Z2 (*Mathematical description of the dependence of the quantum yield of chlorophyll *a* fluorescence in the sea on environmental factors*), dokonano modyfikacji modelu wydajności kwantowej fotosyntezy i zaproponowano - pierwszy raz w literaturze - matematyczny opis zależności wydajności kwantowej fluorescencji chlorofilu od czynników środowiskowych w morzu. W konsekwencji skonstruowano unikalny model wiążący ilościowo kwantowe wydajności procesów fotosyntezy i naturalnej fluorescencji glonów morskich (SICF¹) oraz opisujący ich związki z trzema głównymi czynnikami środowiskowymi, tj. (1) z czynnikami optycznymi (podwodne pola oświetlenia w morzu i właściwości absorpcyjne glonów); (2) z typem troficznym akwenu, za który przyjęto powierzchnię zawartość głównego pigmentu fotosyntetycznego chlorofilu *a*, i (3) z temperaturą mas wodnych. Realna wydajność kwantowa fluorescencji została wyrażona jako suma dwu składowych: stałej ($\Phi_{i,0}$) i zmiennej ($\Phi_{i,v}$). W wyniku przeprowadzonych analiz materiału empirycznego stwierdzono, że składowa stała wydajności kwantowej fluorescencji $\Phi_{i,0}$, zależy praktycznie tylko od troficznosci akwenu i ustalono postać funkcyjną tej zależności. Natomiast składowa zmienna tej wydajności

¹ SICF skrót od ang. Sun-Induced Chlorophyll *a* Fluorescence

kwantowej $\Phi_{fl,v}$ – jest uzależniona w sposób złożony już od wszystkich trzech wymienionych czynników środowiskowych. Jednakże - analogicznie jak w przypadku omówionych we wstępnej części rozprawy zależności kwantowej wydajności fotosyntezy od czynników środowiskowych – daje się ona wyrazić jako iloczyn maksymalnej wartości tej składowej - $\Phi_{fl,v,max}$ (równiej 1 Ein Ein^{-1}) i pięciu mniejszych od jedności bezwymiarowych czynników (to jest $\Phi_{fl,v} = \Phi_{fl,v,max} \cdot f_{fl,a} \cdot f_{fl,\Delta} \cdot f_{fl,c(Ca(0))} \cdot f_{fl,c(PARinh)} \cdot f_{fl,E,t}$). Trzy z wyżej wspomnianych bezwymiarowych czynników mają podobne znaczenie jak w przypadku opisanej wcześniej wydajności fotosyntezy. Są to kolejno: $f_{fl,a}$ - czynnik nefotosyntetycznych pigmentów, uwzględniający fakt, że energia wzbudzenia pigmentów fotoochronnych nie jest przekazywana do centrów reakcji, nie może być więc wykorzystana w procesie fotosyntezy ani też wyświecona w postaci fluorescencji, tj. w paśmie spektralnym ok. 685 nm, przez chlorofil *a* znajdujący się w tym centrum. Czyli $f_{fl,a} = f_a$. Czynnik $f_{fl,\Delta}$, który opisuje zaburzenia w funkcjonowaniu centrów reakcji fotosyntezy, powodujące, że energia wzbudzenia, która mogłaby być dalej wykorzystana na fotosyntezę, lub wyświecona w postaci fluorescencji chlorofilu *a* nie jest przejmowana przez te centra od pigmentów, czyli $f_{fl,\Delta} = f_{\Delta}$. Ostatni z nich to czynnik $f_{fl,c(PARinh)}$ - opisujący niszczenie części centrów reakcji RC w wyniku fotoinhibicji. Centra te zostają uszkodzone nadmiarem energii światła, przez co – podobnie jak w przypadku fotosyntezy - nie przyjmują energii, która mogłaby być dalej wykorzystana na fotosyntezę materii organicznej lub wypromieniowana w postaci fluorescencji chlorofilu *a*. Czyli $f_{fl,c(PARinh)} = f_{c(PARinh)}$. Inny natomiast niż to opisuje czynnik $f_{E,t}$ w przypadku fotosyntezy jest łączny wpływ poziomu oświetlenia i temperatury na fluorescencję. Ten czynnik $f_{E,t}$ czyli klasyczna zależność fotosyntezy od warunków oświetleniowych i temperatury określa względną liczbę zamkniętych centrów reakcji fotosyntezy RC dzięki czemu jest proporcjonalny do kwantowej wydajności fotosyntezy. Natomiast wydajność alternatywnego do fotosyntezy procesu, czyli fluorescencji jest proporcjonalna do względnej liczby otwartych centrów RC, czyli do czynnika $f_{fl,E,t}$, który jest dopełnieniem wartości $f_{E,t}$ do jedności. To znaczy: $f_{fl,E,t} = 1 - f_{E,t}$. Podobnie troficzność akwenu wpływa na zmienną składową wydajności fluorescencji w odwrotny sposób niż na wydajność fotosyntezy. W wyniku tego czynnik $f_{fl,c,Ca(0)}$ opisujący związek między liczbą funkcjonujących centrów reakcji RC i zawartością chlorofilu *a* w wodzie jest uzupełnieniem do jedności takiego czynnika dla fotosyntezy, czyli: $f_{fl,c,Ca(0)} = 1 - f_{c,Ca(0)}$.

Warto jeszcze raz zwrócić uwagę na fakt, że opracowany matematyczny opis zależności kwantowej wydajności fluorescencji Φ_{fl} od wspomnianych trzech najważniejszych warunkujących fluorescencję chlorofilu czynników środowiskowych jest pierwszym uniwersalnym modelem naturalnej fluorescencji chlorofilu w morzu. Opisuje on wydajność kwantową tego procesu w dowolnych typach troficznych akwenów Oceanu Światowego, pozwalając jednocześnie prześledzić zróżnicowanie tej wydajności w różnych możliwych warunkach oświetleniowych i termicznych panujących na różnych głębokościach w toni wodnej.

Celem kolejnej publikacji to jest artykułu Z3 (*Model dependences of the deactivation of phytoplankton pigment excitation energy on environmental conditions in the sea*) było (patrz pozycja 3 w zamieszczonym wcześniej wykazie cząstkowych celów merytorycznych) ustalenie matematycznego modelowego opisu zależności wydajności kwantowej procesów bezpromienistej niefotochemicznej dezaktywacji wzbudzonych stanów molekuł pigmentów fitoplanktonu, czyli bezpośredniej produkcji ciepła, od czynników środowiskowych w morzu. Cel ten osiągnięty został nie na drodze bezpośrednich analiz odpowiedniego materiału eksperymentalnego, ale poprzez syntezę dwu modelowych opisów wydajności kwantowych procesów dezaktywacji energii wzbudzenia towarzyszących jej dyssypacji w ciepło. Były to dwa omówione wcześniej modele wydajności kwantowych (fotosyntezy oraz naturalnej fluorescencji SICF), opracowane przez mnie lub z moim udziałem, sformułowane na podstawie analiz statystycznych obszernego materiału empirycznego. W efekcie powstał model umożliwiający wyznaczanie wydajności kwantowej tej bezpośredniej produkcji ciepła na podstawie znanych trzech czynników środowiskowych, to jest – podobnie jak w przypadku modeli fotosyntezy oraz fluorescencji – warunków oświetleniowych, temperatury powierzchni morza oraz troficzności akwenu.

Zwróćmy uwagę, że opracowanie tego ostatniego opisu modelowego odnoszącego się do wydajności kwantowej produkcji ciepła w znaczący sposób rozszerzyło naszą wiedzę o naturze i głównych uwarunkowaniach procesów dezaktywacji stanów wzbudzonych pigmentów fitoplanktonu generowanych przez absorpcję światła. W efekcie powstał spójny, pół-empiryczny matematyczny model wydajności kwantowych wszystkich trzech procesów dezaktywacji stanów wzbudzonych molekuł pigmentów fitoplanktonu czyli dyssypacji energii wzbudzenia. Umożliwia on jednocześnie estymowanie wartości wydajności kwantowych procesów fotosyntezy, naturalnej fluorescencji fitoplanktonu i bezpromienistej niefotochemicznej dyssypacji energii wzbudzenia pigmentów fitoplanktonu w morzu dla dowolnych rejonów i sezonów, w akwenach o dowolnej troficzności na różnych głębokościach. Rezultaty takich estymacji zaprezentowano w ostatniej publikacji zamieszczonej w tej rozprawie, Z4 (*Modelled quantum yields and energy efficiency of fluorescence, photosynthesis and heat production by phytoplankton in the World Ocean*). Celem tego artykułu było scharakteryzowanie obserwowanego w różnych typach akwenów Oceanu Światowego, na różnych głębokościach w różnych sezonach i w różnych strefach klimatycznych, ilościowego zróżnicowania elementów bilansu wykorzystania energii światła słonecznego absorbowanego przez fitoplankton, na procesy fluorescencji, fotosyntezy i produkcji ciepła (patrz pozycja 4 w zamieszczonym wcześniej wykazie cząstkowych celów merytorycznych rozprawy). W pracy wyznaczono na drodze modelowych obliczeń pionowe profile wydajności tych trzech procesów w różnych troficznych typach mórz, dla trzech różnych stref klimatycznych (tj.: tropikalnej, umiarkowanej i polarnej), oraz dla dwu wybranych pór roku: czerwiec (tj. lato na półkuli północnej) i styczeń (zima na półkuli północnej). Uzyskane rezultaty tych obliczeń stanowią kompleksowy opis zakresu zmienności wartości tych wszystkich wydajności procesów dezaktywacji wzbudzeń molekuł pigmentów fitoplanktonu spotykanych w naturze, to jest w różnych morzach, w różnych sezonach i rejonach geograficznych, i na różnych głębokościach w akwenu. Wyniki te umożliwiły zestawienie zaprezentowanych także w pracy sumarycznych, to jest odniesionych do całej strefy eufotycznej, bilansów wykorzystania energii wzbudzonych w wyniku absorpcji światła słonecznego stanów molekuł pigmentów fitoplanktonu na

trzy grupy procesów uzupełniających się, to jest fluorescencji chlorofilu a, procesów fotochemicznych prowadzących do asymilacji nieorganicznego węgla i fotosyntezy oraz bezpromienistych procesów niefotochemicznych uruchamiających bezpośrednio produkcję ciepła.

Reasumując jest to pierwsze, opublikowane w literaturze, tak kompleksowe ujęcie tego problemu. Wyselekcjonowałam najważniejsze czynniki warunkujące fluorescencję, zarówno tę indukowaną przez sztuczne źródła światła jak i przez światło słoneczne, nieomal dla wszystkich konfiguracji abiotycznych czynników panujących w akwenach morskich na Ziemi. Znalazłam matematyczne związki pomiędzy fluorescencją i procesami jej wygaszania a najważniejszymi czynnikami środowiskowymi warunkującymi te procesy w morzu tj. troficzności akwenu, oświetlenia i temperatury na różnych głębokościach w toni wodnej. Ośmielam się twierdzić, że przytoczone wyżej argumenty w pełni dokumentują osiągnięcie wszystkich założonych celów moich badań, które wnoszą bardzo znaczący przyczynek do współczesnej wiedzy oceanologicznej i stanowią ważny krok na drodze poznawania tajemnic Przyrody.

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

I. Rys historyczny i charakterystyka ogólna

Jestem absolwentką Wydziału Elektroniki Politechniki Gdańskiej. Już w okresie studiów interesowałam się badaniami morza, stąd temat pracy magisterskiej "*Układ linearyzacji skali sonaru boczego*" wybrałam z zakresu hydroakustyki. Tytuł magistra inżyniera w zakresie telekomunikacji uzyskałam w roku 1985.

Bezpośrednio po studiach, od 1986 r. podjęłam pracę w Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie, w Pracowni Biofizyki Morza kierowanej przez prof. dr hab. Bogdana Woźniaka (wówczas doktora), w której to pracowni pracuję do chwili obecnej. Pełniłam tu różne funkcje począwszy od stażysty, do (aktualnie) Zastępcy Kierownika Projektu *Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego SatBałtyk* (od 2010). W pierwszym okresie, zatrudniona jako pracownik naukowo-techniczny, zajmowałam się obsługą i konstruowaniem morskiej aparatury badawczej oraz prowadzeniem oceanograficznych pomiarów w laboratorium i podczas morskich rejsów badawczych. Między innymi, w latach 1987-88 uczestniczyłam w trwającym 5 miesięcy 15 rejsie badawczym rosyjskiego statku r/v Vitiaż, w rejonie Oceanu Indyjskiego i Morza Czarnego. Podczas tej wyprawy pracowałam w zespole naukowców z Instytutu Oceanologii Rosyjskiej Akademii Nauk i Uniwersytetu im. Łomonosowa w Moskwie, prowadząc badania optyczne i biologiczne ww. akwenów. Zgromadziłam przy tym cenne dane empiryczne, które wykorzystałam później w mojej pracy w macierzystym Instytucie. Moja rola w tym rejsie nie ograniczyła się jedynie do pomocy przy pomiarach bardzo głęboko zainteresowały mnie wtedy zagadnienia merytoryczne z dziedziny optyki i biofizyki morza. Problematyka ta odpowiadała mi bardziej, niż dotychczasowa praca o charakterze technicznym. Dlatego w roku 1989 na moją prośbę decyzją Dyrektora IO PAN zostałam przeniesiona za stanowiska specjalisty na etat naukowy - asystenta.

W pierwszym okresie pracy naukowej koncentrowałam się na analizach możliwości wykorzystania zjawiska fluorescencji chlorofilu a w fitoplanktonie do badań fotosyntezy oraz opracowywaniu i wprowadzaniu do praktyki nowych metod pomiarów niektórych charakterystyk środowiska morskiego, zwłaszcza tych dotyczących produkcji pierwotnej materii organicznej w morzu.

Dostrzegłam bowiem duże możliwości rozwoju metod badania naturalnych fitocenoz morskich, w tym szeroko pojętych charakterystyk fotosyntezy, opartych na odpowiedniej interpretacji pomiarów tej fluorescencji. Zainteresowania te zaowocowały obroną przed Radą Naukową Instytutu Oceanologii PAN w roku 2000 i wyróżnioną przez tą Radę, rozprawą doktorską pt. „*Zastosowanie fluorescencyjnych metod do badań fotosyntezy w morzu*”, której promotorem był prof. dr hab. Bogdan Woźniak.

Po uzyskaniu stopnia naukowego Doktora Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii kontynuowałam pracę w Instytucie Oceanologii na stanowisku adiunkta, realizując badania z zakresu optyki i biooptyki morskiej prowadzone w zespole kierowanym przez Profesora Woźniaka. Praca w tym zespole oraz współpraca z kolegami z wielu różnych instytucji krajowych i zagranicznych sprzyjała dalszemu rozwojowi moich naukowych zainteresowań i ukierunkowała moje badania na, mówiąc najogólniej, poznawanie mechanizmów i procesów związanych z dopływem i wykorzystaniem promieniowania słonecznego w środowisku morskim na fotosyntezę materii organicznej. Temu najważniejszemu procesowi zasilania ekosystemów morskich w energię - fotosyntezie, towarzyszą procesy dyssypacji części energii promieniowania pochłoniętej przez fitoplankton w procesie już wcześniej przeze mnie badanej fluorescencji chlorofilu *a* oraz w procesie bezpromienistej i niefotochemicznej zamiany w ciepło. Biorąc to pod uwagę, podjęłam przed laty ważną decyzję o ukierunkowaniu i skupieniu swojej dalszej pracy naukowej na badaniach wydajności kwantowych i energetycznych zachodzących w fitoplanktonie morskim procesów fotosyntezy, fluorescencji i bezpośredniej zamiany energii promieniowania na ciepło. Uwieńczeniem moich wieloletnich badań teoretycznych i eksperymentalnych w tym kierunku są nowe oryginalne opisy teoretyczne (modelowe) i charakterystyki empiryczne, środowiskowych uwarunkowań tych trzech procesów w morzach od różnych panujących tam typowych warunków. Wyniki tej złożonej pracy opublikowane są w 6-ciu artykułach (w czasopismach z listy filadelfijskiej) ujętych w wykazie moich publikacji w punkcie I.B. Stanowią one osiągnięcie mieszczące się pod wspólnym tytułem: „*Biooptyczne modele fluorescencji fitoplanktonu i jej wygaszania w morzach i oceanach*”, które przedkładam jako główne uzasadnienie ubiegania się o stopień naukowy doktora habilitowanego.

Badania związane z moimi indywidualnymi zainteresowaniami naukowymi łączyłam ze staraniami mającymi na celu zdobycie środków na ich realizację, co zaowocowało przyznaniem mi przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego indywidualnego projektu badawczego *Wykorzystanie fluorescencyjnych metod do badania fitocenoz morskich* (patrz pozycja II.I.2).

Moje dążenia do rzetelnego rozwiązania celów naukowych przekraczające możliwości jednego badacza realizowałam we współpracy z wyspecjalizowanymi w różnych dyscyplinach naukowcami z różnych instytucji w kraju i zagranicą, uczestnicząc aktywnie w wielu badaniach zespołowych. Tematyka tych badań obejmowała szeroko pojętą optykę morza i poza fizykami i biofizykami morza oraz technikami z IO PAN w Sopocie (zespół prof. B. Woźniaka), uczestniczyli w nich głównie:

- od 1987 roku zespół biologów i optyków morza z Instytutu Oceanologii RAN w Moskwie (prof. O.J. Koblenz-Mishke, prof. V.N. Pelevin i inni)
- od 1987 roku zespół biofizyków z Uniwersytetu Łomonosowa w Moskwie (prof. A.B. Rubin i inni)

- od 1994 roku koledzy z Zakładu Fizyki Środowiska z Instytutu Fizyki z Akademii Pomorskiej w Słupsku (dr D. Ficek, dr R. Majchrowski i inni)
- od 2001 roku zespół oceanografów fizycznych z Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego (prof. A. Krężel i inni)
- od 2009 roku zespół naukowy oceanografów i kartografów fizycznych z Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego (prof. K. Furmańczyk i inni)

Współpraca ta koncentrowała się zarówno na badaniach eksperymentalnych jak i teoretycznych, obejmując szeroki wachlarz problemów z zakresu optyki i biofizyki morza, a w szczególności zagadnienia związane z modelowaniem dopływu światła słonecznego do akwenów morskich i jego wykorzystaniem na energetyczne zasilanie ekosystemów poprzez proces fotosyntezy. W jej wyniku powstało wiele nowych pomysłów i rozwiązań oraz dokonano kilku odkryć w zakresie badanego przedmiotu, które zostały przedstawione w szeregu oryginalnych publikacji z czego ok. 50 z moim współautorstwem (patrz załącznik 3). Prace te wniosły wiele nowych elementów do nauki o morzu, głównie w zakresie badań spektralnych dopływu promieniowania słonecznego do morza i zasilania ekosystemów morskich w energię oraz optycznej teledetekcji stanów środowiska morskiego.

Formalnie współpraca ta odbywała się: na podstawie umów bilateralnych, w ramach realizacji wspólnego projektu DESAMBEM (lata 2001-2005), w Sieci Naukowej „*Międzyinstytutowy Zespół Satelitarnych Obserwacji Środowiska Morskiego*” powołanej w 2006 roku przez MNiSzW (lata 2006-2009) i obecnie w ramach Konsorcjum Naukowego SatBałtyk (patrz odpowiednie pozycje w załączniku). Mój udział polegał na planowaniu i wspólnej realizacji badań oraz pełnieniu funkcji kierowniczych, z których najważniejsze to:

- w latach 2001-2005 - Zastępca Kierownika Projektu DESAMBEM (budżet 5 000 000 PLN, projekt badawczy zamawiany przez KBN, nr PBZ-KBN 056/P04/2001, „*Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku*”). Projekt realizowany przez Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (koordynator), Instytut Oceanografii UG, Instytut Fizyki Pomorskiej Akademii Pedagogicznej w Słupsku, przy współpracy z Morskim Instytutem Rybackim w Gdyni;
- od roku 2010 - Zastępca Kierownika Projektu SATBAŁTYK (budżet ok. 40 000 000 PLN, 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: Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk (koordynator), Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, Instytut Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku oraz Instytut Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego.

Szczególnie dla mnie cenna i warta podkreślenia jest moja osobista współpraca z kolegami z Katedry Biofizyki Uniwersytetu im. Łomonosowa (UŁ) w Moskwie trwająca od wspomnianego wyżej rejsu na statku r/v Vitiaż, to jest od roku 1987. Koncentruje się ona głównie na badaniu i poznawaniu mechanizmów zachodzących w glonach morskich zjawisk fotoluminescencji i towarzyszących im różnych procesów – zwłaszcza fotofizjologicznych (np. fotosynteza, adaptacja komórek do warunków świetlnych i innych w środowisku roślinności i rozwoju glonów, np. fitoplanktonu w morzu). Ta bezpośrednia współpraca, oraz cenne dyskusje prowadzone na wspólnie organizowanych seminariach i konferencjach, podczas wzajemnych wizyt naukowych i rejsów na statkach badawczych

okazały się niezmiernie pomocne w realizacji moich indywidualnych planów badawczych i zaowocowały m.in. 6 oryginalnymi publikacjami (patrz pozycje II.A.5, II.A.9, II.A.12, II.A.13, II.A.15, II.A.18).

Ważnym wydaje się także mój dorobek w zakresie organizacji zaprezentowanej wyżej współpracy naukowej zarówno na forum krajowym jak i międzynarodowym. Na forum krajowym jest to organizacja współpracy zarówno pomiędzy różnymi polskimi placówkami naukowymi, jak i w mniejszej skali, jako organizator i kierownik rejsów badawczych w rejonie Bałtyku na r/v Oceania czy koordynator cyklicznego eksperymentu brzegowego (raz w miesiącu) SOPOT – MOLO w którym uczestniczą zespoły naukowe z różnych Pracowni IO PAN, a którego celem są badania empiryczne związków pomiędzy geochemicznymi i optycznymi właściwościami składników wody morskiej w rejonie mola w Sopocie. Ważne jest także moje współuczestnictwo (jako członek komitetów naukowo-organizacyjnych) w organizacji pięciu roboczych konferencji dotyczących projektów DESAMBEM i SatBałyk (Patrz pozycje III.C.1-5 w załączniku 3).

Moje najważniejsze dokonania w zakresie organizacji międzynarodowej naukowej współpracy to:

- współuczestnictwo w projektowaniu programów naukowych dwu międzynarodowych biofizycznych „eksperymentów brzegowych”, zorganizowanych w ramach projektu „Ocean Światowy” (projekt krajów dawnego bloku socjalistycznego) - patrz p. III.Q,
- współuczestnictwo (jako członek komitetów naukowych i organizacyjnych) w organizacji i projektowaniu programów naukowych pięciu międzynarodowych, organizowanych w Polsce konferencji z cyklu *Luminescence and photosynthesis of marine phytoplankton* (patrz pozycje III.C.3-7 w załączniku 3)
- współuczestnictwo jako członek komitetu naukowego w ustalaniu programu naukowego międzynarodowej konferencji VI International Conference Current Problems In Optics of Natural Waters zorganizowanej w Petersburgu (patrz pozycja III.C.8 w załączniku 3)

Na tych konferencjach przewodniczyłam obradom naukowym oraz wygłosiłam zaproszone wykłady plenarne, wymienione w moim wykazie publikacji pod numerami II.K.1-4 w załączniku 3.

Ponadto jako referent, autor lub współautor referatów oraz posterów występowałam na około pięćdziesięciu innych międzynarodowych konferencjach, wymienionych w p. III B w załączniku 3.

Poza pracą ściśle naukową zajmowałam się również popularyzacją nauki przygotowując prezentacje, wykłady i doświadczenia oraz czynnie uczestnicząc w różnego rodzaju imprezach (patrz pozycje III.I.2,4-5 w załączniku 3)) adresowanych do odbiorców w różnym wieku i z różnych pozanaukowych środowisk.

Pomimo pracy w Instytucji, która nie zapewnia regularnych zajęć ze studentami podejmowałam się opieki nad praktykami studenckimi. Byłam opiekunem ponad 30 praktyk studentów z Uniwersytetu Gdańskiego, Akademii Pomorskiej w Słupsku i Politechniki Gdańskiej. Część z moich podopiecznych utrzymywało po praktykach kontakt z naszym zespołem naukowym na zasadach wolontariatu, a najlepsi z nich zasilili szeregi pracowników IO PAN.

Dzięki tej aktywności mam szerokie grono współpracowników i przyjaciół w środowisku krajowym i zagranicznym zarówno w kręgach naukowych związanych z fizyką morza jak i z różnymi innymi działami szeroko pojętej oceanologii.

II. Unikalne elementy dorobku

Rezultaty moich badań eksperymentalnych i teoretycznych stanowią ważny przyczynek do poznania specyfiki i modelowania procesów indukowanych światłem w komórkach fitoplanktonu w morzu, w tym głównie fluorescencji chlorofilu *a* i procesów jej wygaszania.

Obok osiągnięć przedstawionych w artykułach stanowiących zasadniczą część mojej rozprawy habilitacyjnej najbardziej oryginalnymi i unikalnymi elementami mojego indywidualnego dorobku są:

1. Rozpowszechnienie wśród polskich optyków morza fluorescencyjnych metod badań właściwości fitoplanktonu morskiego i fluorymetrycznych metod badania fotosyntezy w morzu (Ostrowska 1990, Ostrowska i Woźniak 1991a, 1991b, w wykazie publikacji poz. II.A.2, II.A.32, II.A.33).
2. Zebranie obszernych zbiorów danych empirycznych (zawartych w banku danych oceanograficznych IO PAN), odnoszących się do wydajności kwantowych fluorescencji chlorofilu *a* w morzu, indukowanej sztucznymi źródłami światła (fluorymetry zanurzeniowe).
3. Ustalenie (na podstawie analiz statystycznych tych zbiorów danych empirycznych) zależności matematycznych pomiędzy fluorescencją fitoplanktonu indukowaną sztucznymi źródłami światła a koncentracją chlorofilu *a* w wodzie morskiej, różnymi fotofizjologicznymi charakterystykami fitoplanktonu i widmem światła wzbudzającego fluorescencję (Ostrowska i in. 2000, w wykazie publikacji poz. II.A.13).
4. Sformułowanie ogólnego modelu matematycznego właściwości fluorescencyjnych fitoplanktonu morskiego na podstawie ww. zależności. W odróżnieniu od wcześniejszych takich modeli głównie „statystycznych” (Patrz Lorentzen 1966, Hundahl i Holck 1989 oraz przegląd w pracy Ostrowska 2001), ten nowy model jest fizyczny, to znaczy oparty na formułach matematycznych posiadających sens fizyczny. Umożliwia on estymowanie między innymi indukowanej sztucznymi źródłami światła fluorescencji fitoplanktonu na podstawie znanych wartości indeksu troficzności akwenu i głębokości w morzu. Model ten został wykorzystany do ilościowego scharakteryzowania zróżnicowania specyficznej fluorescencji fitoplanktonu w różnych typach troficznych akwenów i na różnych głębokościach w morzu. Opracowano także uproszczoną wielomianową metodę wyznaczania tej fluorescencji (Ostrowska i in. 2000, w wykazie publikacji poz. II.A.12).

5. Opracowanie zbioru tzw. algorytmów fluorymetrycznych umożliwiających wyznaczenie koncentracji chlorofilu *a* i produkcji pierwotnej w morzu a także szeregu innych charakterystyk fotosyntetycznych fitoplanktonu, na podstawie pomiarów fluorescencji dokonanych z pomocą zanurzeniowych fluorymetrów (patrz Ostrowska 2001, w wykazie publikacji poz. II.D). Tymi dodatkowymi charakterystykami fotosyntezy, możliwymi do wyznaczania fluorymetrycznie są: wydajność fotosyntezy, energia światła naturalnego absorbowanego przez pigmenty fotosyntetyczne fitoplanktonu, oraz średnie współczynniki absorpcji światła przez fitoplankton. Przeprowadzona empiryczna weryfikacja tych algorytmów wykazała, że pozwalają one oceniać produkcję pierwotną i inne charakterystyki fotosyntezy z dokładnością nie mniejszą niż stosowane tradycyjne techniki pomiarowe.
6. Zainicjowanie wśród polskich biooptyków morza badań naturalnej fluorescencji chlorofilu *a*, to jest indukowanej dziennym światłem słonecznym, tzw SICF (Ostrowska i in. 1997 w wykazie publikacji poz. II.A.38).
7. Ustalenie, przy wykorzystaniu metod badawczych opartych na pomiarach widm wzbudzenia fluorescencji i mikroskopowych analiz składu gatunkowego fitocenoz w Bałtyku, przybliżonych analitycznych opisów zależności pomiędzy zawartością chlorofilu *a* a sumaryczną zawartością węgla organicznego w komórkach czterech głównych grup gatunkowych fitoplanktonu w fitocenozach Bałtyckich (tj. (1) *Chlorophyceae*, (2) *Cyanobacteria*, (3) *Bacillariophyceae* razem z *Dinophyceae* i (4) *Cryptophyceae*) oraz ustalenie analitycznego opisu tych zależności (Ostrowska i in. 2008, w wykazie publikacji poz. II.A.45).
8. Aktywny udział w opracowaniu dwu (dla Oceanu Światowego i dla Bałtyku) przez zespół wieloautorski, półempirycznych modeli wydajności kwantowej fotosyntezy w morzu (Woźniak i in. 2002, 2003, 2007, w wykazie publikacji poz. I.B.1, I.B.2, II.A.43).
9. Aktywny udział w przygotowaniu przez zespół wieloautorski, podstaw teoretycznych użytecznego modelu światło – fotosynteza w morzu w celu jego wykorzystania w zdalnych satelitarnych metodach badania ekosystemów Bałtyku, w ramach programów DESASMBEM i SatBałtyk (Woźniak i in 2008, 2011, Darecki i in. 2008, w wykazie publikacji poz. II.A.24, II.A.28, II.A.29, II.A.25). Ustalenie (osiągnięcie indywidualne) analitycznego opisu pionowych profili koncentracji chlorofilu w akwenach bałtyckich dla celów ww. programów (Ostrowska i in. 2007 w wykazie publikacji poz. II.A.21 w zał. 3).

Efektom mojej pracy naukowej jest 52 publikacji naukowych w tym 37 oryginalnych artykułów publikowanych w czasopiśmie o zasięgu międzynarodowym, z tzw. "listy filadelfijskiej" oraz jedna monografia (poz. II.D wykazu osiągnięć). Ponadto jestem autorem lub współautorem ponad 20 opracowań niepublikowanych, pozostałych na prawach rękopisów w materiałach archiwalnych IO PAN - patrz p. II.E).

Liczba cytowań moich prac naukowych wynosi 65 (bez autocytowań), wg bazy Web of Science i 114 (również bez autocytowań) wg Bazy Scopus a indeks Hirsha 7 (bez autocytowań), co plasuje się wyraźnie ponad przeciętną w uprawianej przeze mnie dyscyplinie w Polsce.

Cytowana literatura:

Hundahl H., Holck J., 1980, *A new 'in situ' fluorometer for detection of rhodamineB and chlorophyll*, Inst. Phys. Oceanogr., Copenhagen Univ., Copenhagen, 42, 143-153.

Kolber Z., Falkowski P.G., 1993, *Use of active fluorescence to estimate phytoplankton photosynthesis 'in situ'*, Limnol. Oceanogr., 38(8), 1646-1665.

Lorenzen C. F., 1966, *A method for the continuous measurements of 'in vivo' chlorophyll concentration*, Deep-Sea Res., 13, 223-227.

Morel A., Antoine D., Babin M., Dandonneau Y., 1996, *Measured and modeled primary production in the northeast Atlantic (Eumeli JGOFS program): the impact of natural variations in photosynthetic parameters on model predictive skill*, Deep-Sea Res., 43, 1273-1304.

Westberry T.K., Siegel D.A., 2003, *Phytoplankton natural fluorescence variability in the Sargasso Sea* Deep-Sea Research, I 50, 417-434.

Woźniak B., Dera J., Koblenz-Mishke O. I., 1992, *Modelling the relationship between primary production, optical properties, and nutrients in the sea*, Ocean Optics 11, Proc. SPIE, 1750, 246-275.

Mirosława Ostrowska