

## Autoreferat

### 1. Imię i Nazwisko:

Sławomir B. Woźniak

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

**Magister Fizyki** uzyskany na Wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Gdańskiego w roku 1995, tytuł pracy magisterskiej: *Matematyczny model odbicia i transmisji oświetlenia naturalnego przez sfalowaną powierzchnię morza* (Promotor: prof. dr hab. Jerzy Dera)

**Doktor Nauk o Ziemi** w zakresie Oceanologii przyznany przez Radę Naukową IO PAN w Sopocie w roku 2000, tytuł rozprawy doktorskiej: *Modelowanie właściwości optycznych sfalowanej powierzchni morza* (Promotor: prof. dr hab. Jerzy Dera)

### 3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

#### Miejsce stałego zatrudnienia:

[czerwiec 1995 - obecnie]

**Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk** w Sopocie, zajmowane stanowiska: starszy laborant, asystent, starszy asystent, adiunkt, pełnione funkcje: rok 2000 - pełniący obowiązki (p.o.) Kierownika Pracowni Aktynometrii Morskiej, od roku 2006 - do chwili obecnej - Kierownik Pracowni Optyki Morza (obecna nazwa: Pracownia Optyki Morza i Atmosfery)

#### Pobyty naukowe za granicą:

[październik 2001 - marzec 2003]

**Scripps Institution of Oceanography**, University of California San Diego, staż podoktorski oraz praca na stanowisku *visiting scientist* w Marine Physical Laboratory oraz Center for Atmospheric Sciences

[sierpień 2004 - czerwiec 2006]

**Scripps Institution of Oceanography**, University of California San Diego, praca na stanowisku *visiting research scientist* w Marine Physical Laboratory

### 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 (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

#### a) tytuł osiągnięcia naukowego,

Badanie i modelowanie zależności pomiędzy składnikami zawieszonymi w wodzie morskiej a rzeczywistymi i pozornymi właściwościami optycznymi w wodach drugiego rodzaju

**b) autor/autorzy, tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa,****Publikacja 1.**

S.B. Woźniak, D. Stramski, 2004, Modeling the optical properties of mineral particles suspended in seawater and their influence on ocean reflectance and chlorophyll estimation from remote sensing algorithms, *Applied Optics*, 43(17), 3489-3503.

**Publikacja 2.**

S.B. Woźniak, D. Stramski, M. Stramska, R.A. Reynolds, V.M. Wright, E.Y. Micsic, M. Cichocka, A.M. Cieplak, 2010, Optical variability of seawater in relation to particle concentration, composition, and size distribution in the nearshore marine environment at Imperial Beach, California, *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 115, C08027, doi:10.1029/2009JC005554.

**Publikacja 3.**

S.B. Woźniak, J. Meler, B. Lednicka, A. Zdun, J. Stoń-Egiert, 2011, Inherent optical properties of suspended particulate matter in the southern Baltic Sea, *Oceanologia*, 53(3), 691–729, doi:10.5697/oc.53-3.691.

**Publikacja 4.**

S.B. Woźniak, 2014, Simple statistical formulas for estimating biogeochemical properties of suspended particulate matter in the southern Baltic Sea potentially useful for optical remote sensing applications, *Oceanologia*, 56(1), 7-39, doi:10.5697/oc.56-1.007.

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

Niniejsze omówienie rozpoczynam krótkim wprowadzeniem, które między innymi wskazuje na zasadność badań naukowych podjętych w prezentowanym przeze mnie cyklu prac. Następnie podaję główne cele przyjęte do realizacji podczas prowadzenia tych badań oraz omawiam zawartości każdej z czterech opublikowanych prac wchodzących w skład cyklu. Na koniec prezentuję też krótkie podsumowanie oraz sygnalizuję potencjalne kierunki dalszego rozwoju badań właściwości optycznych zawiesin występujących w różnych akwenach morskich.

**Wprowadzenie**

Ponad dwie trzecie powierzchni naszego globu stanowią morza i oceany. Promieniowanie słoneczne, będące głównym źródłem energii napędzającym funkcjonowanie całego ziemskiego ekosystemu, docierając przez ziemską atmosferę do powierzchni naszego globu ma szansę oddziaływać z powierzchniowymi warstwami wód różnych akwenów. Promieniowanie to wnikając pod powierzchnię wody może być w niej rozpraszane oraz absorbowane. Zaabsorbowana energia słoneczna prowadzi w efekcie do ogrzewania się warstw wody jak również jest wykorzystywana w procesie fotosyntezy prowadzącym do tworzenia się struktur organicznych fitoplanktonu morskiego. Ten ostatni stanowi podstawowe ogniwo morskich łańcuchów troficznych oraz jest kluczowym elementem obiegu węgla w przyrodzie. Dlatego też pogłębianie wiedzy o procesach oddziaływania światła z wodą morską, jak również monitorowanie tych procesów w skali globalnej, są elementami niezbędnymi do zrozumienia zasad funkcjonowania ekosystemów morskich jak i całego ekosystemu naszej planety.

Woda morska jest skomplikowanym medium, w którym oprócz samej chemicznie "czystej" wody występują zawsze większe lub mniejsze ilości substancji rozpuszczonych i zawieszonych. Oddziaływanie światła z wodą morską jest więc zwykle bardzo skomplikowane, a właściwości optyczne wody morskiej różnią się diametralnie od właściwości optycznych samej czystej wody. Oddziaływaniem tym oraz właściwościami optycznymi wody morskiej zajmują się poddziedzina oceanologii jaką jest optyka morza i oceanu.

Zwyczajowo mówiąc o właściwościach optycznych wody morskiej wyróżnia się dwie wyłączające się grupy: są to tzw. rzeczywiste oraz pozorne właściwości optyczne (ang. *inherent* oraz *apparent optical properties*). Definicje stosowane we współczesnej optyce morza można znaleźć na przykład w anglojęzycznej monografii Mobley'a (1994), lub też w polskojęzycznej monografii Dery (2003). Rzeczywistymi właściwościami optycznymi nazywamy te, które zależą tylko i wyłącznie od właściwości samego medium. Dwie podstawowe rzeczywiste właściwości optyczne to współczynnik absorpcji światła (ang. *absorption coefficient*) oraz objętościowa funkcja rozpraszania światła w wodzie morskiej (ang. *volume scattering function*). Pozostałe stosowane to między innymi: współczynniki rozpraszania (całkowitego) lub rozpraszania wstecz światła (ang. *scattering* oraz *backscattering coefficients*), współczynnik osłabiania światła (ang. *beam attenuation coefficient*), albedo jednokrotnego rozpraszania (ang. *single scattering albedo*) czy też (zespolony) współczynnik załamania światła (ang. *(complex) index of refraction*). Pozornymi właściwościami optycznymi określa się natomiast te, które zależą zarówno od właściwości samego medium jak i od rozkładów geometrycznych (kątowych) światła docierającego i wnikającego pod powierzchnię wody, ale jednocześnie wykazują na tyle stabilności, aby być użytecznymi do opisu właściwości optycznych wód. Najczęściej używanymi pozornymi wielkościami optycznymi są refleksja oświetlenia (ang. *irradiance reflectance*), czy też tzw. zdalna refleksja (ang. *remote-sensing reflectance*), jak również różne współczynniki dyfuzyjnego osłabiania oświetlenia (ang. *diffuse attenuation coefficients*) oraz tzw. średnie kosinusy (ang. *average cosines*).

Kluczową rolę w wielu różnych procesach odbywających się w toni wodnej mają zwykle dodatkowe występujące w niej zawieszone i rozpuszczone substancje. Charakteryzowanie zróżnicowania przestrzennego i czasowego występowania tych substancji jest jednym z zadań współczesnej oceanografii fizycznej. Badania składu wody morskiej mogą być prowadzone między innymi metodami bezpośredniego poboru dyskretnych prób wody a następnie laboratoryjnych analiz właściwości fizykochemicznych tych prób. Metody takie są jednak bardzo czaso- oraz zasobochłonne i w praktyce pokrycie czasowe i przestrzenne uzyskiwane z ich zastosowaniem jest ograniczone. Znaczącym udogodnieniem w prowadzeniu badań środowiska morskiego może być natomiast praktyczne wykorzystanie wiedzy z zakresu optyki morza poprzez stosowanie różnych tzw. metod optycznych. Metody te można generalnie podzielić na kontaktowe oraz bezkontaktowe (zdalne). Metodami kontaktowymi określać możemy wykorzystywanie odpowiednich przyrządów dokonujących pomiarów właściwości optycznych wody morskiej (rzeczywistych lub pozornych) bezpośrednio w toni wodnej. W zależności od zastosowanych platform badawczych (statki, autonomiczne pojazdy podwodne, boje, stałe platformy pomiarowe, itp.) możliwe z zastosowaniem takich metod może być np. pionowe profilowanie toni wodnej z bardzo wysoką rozdzielczością, uzyskiwanie długich przekrojów horyzontalnych czy też długich serii czasowych właściwości optycznych wody morskiej. Natomiast metody bezkontaktowe/zdalne opierać się mogą na pomiarach światła rozproszonego w toni wodnej i dochodzącego do odpowiednich przyrządów znajdujących się nad jej powierzchnią. Pomiarów takich można prowadzić również z różnych platform badawczych - blisko nad powierzchnią morza np. z burt statków, czy też z większych

wysokości w atmosferze nadmorskiej np. z pokładów samolotów lub też wręcz z orbity okołoziemskiej z wykorzystaniem sztucznych satelitów. W przypadku metod zdalnych możliwe jest co prawda jedynie monitorowanie przypowierzchniowych warstw wody morskiej, i dodatkowo jedynie w sprzyjających warunkach atmosferycznych, ale za to uzyskiwana rozpiętość przestrzenna takich badań jest nieosiągalna żadnymi innymi metodami.

Pełne wykorzystanie różnych optycznych metod do monitorowania składu i procesów odbywających się w wodzie morskiej wiąże się jednak z koniecznością rozumienia skomplikowanego ciągu relacji. Po pierwsze, konieczne jest zrozumienie jak składniki różnych typów i występujące w różnych stężeniach wpływają na rzeczywiste właściwości optyczne wody - czyli na to jak światło może być osłabiane w procesach jego absorpcji i rozpraszania. Po drugie, co jest szczególnie istotne w przypadku metod zdalnych, konieczne jest też dodatkowo zrozumienie jak przy określonych rzeczywistych właściwościach optycznych wody morskiej oraz przy określonych warunkach naturalnego oświetlenia powierzchni morza kształtować się mogą różne pozorne właściwości optyczne, w tym między innymi tzw. zdalna refleksja morza, zwana też często potocznie "kolorem morza" (ang. *ocean colour*). Dopiero zrozumienie tego ciągu skomplikowanych relacji może pozwalać na w pełni świadomą interpretację wyników pomiarów optycznych, a w efekcie na uzasadnione wnioskowanie o zmianach stężeń i właściwości różnych składników badanych wód morskich. Zawsze też konieczna jest świadomość ograniczeń jakim stosowane metody podlegają i jakie mogą być efektywne zakresy błędów związane z ich stosowaniem.

Zagadnienia dotyczące relacji pomiędzy składnikami wody morskiej a rzeczywistymi i pozornymi właściwościami optycznymi wód są szczególnie złożone w przypadku szelfowych rejonów oceanów oraz w morzach zamkniętych i półzamkniętych określanych wspólnie jako tzw. wody drugiego rodzaju (ang. *Case 2 waters*) wg klasyfikacji przyjętej za Morel i Prieur (1977). W odróżnieniu bowiem od wypełniających rozległe centra oceaniczne tzw. wód pierwszego rodzaju (ang. *Case 1 waters*), w których zwykle występuje korelacja pomiędzy różnymi optycznie istotnymi substancjami a stężeniem chlorofilu *a*, w akwenach drugiego rodzaju występować mogą jednocześnie zarówno substancje autogeniczne (fitoplankton i inne organizmy morskie oraz produkty ich rozpadu) jak i substancje alogeniczne (dostarczane do akwenu ze spływami rzecznyymi, przynieszone z wiatrami z lądów, czy też wymywane z dna morskiego). Stężenia tych różnych składników są w wodach drugiego rodzaju przeważnie ze sobą wzajemnie nieskorelowane. Dodatkowo różne zawieszone składniki wody morskiej, zarówno te organiczne jak i nieorganiczne, w odróżnieniu od substancji rozpuszczonych, mogą nie tylko absorbować światło słoneczne ale również je rozpraszać.

Problematyka właściwości optycznych zawiesin morskich stanowiła i wciąż stanowi otwarte zagadnienie badawcze. O ile właściwości optyczne otwartych wód oceanicznych (czyli wód pierwszego rodzaju) były przedmiotem intensywnych badań w ostatnich kilku dekadach XX wieku (patrz np. Morel i Maritorena, 2001 i podsumowująca lista cytowanych tam prac), o tyle kompleksowe badania relacji pomiędzy rodzajami i stężeniami różnych zawiesin morskich (zarówno organicznych jak i mineralnych) a rzeczywistymi właściwościami optycznymi wód w akwenach drugiego rodzaju, były w ubiegłym stuleciu prowadzone raczej sporadycznie. Fakt ten został zauważony m.in. w raporcie *International Ocean-Colour Coordinating Group (IOCCG)* z roku 2000 (IOCCG 2000). W raporcie tym, jako rekomendację dla środowiska oceanologów i oceanografów zajmujących się problematyką optyki morza, przedstawiono potrzebę dokładnego badania rzeczywistych właściwości optycznych różnych składników wody morskiej występujących w różnych przybrzeżnych akwenach morskich, i ich zależności od stężeń i typów tych

składników. W świetle m.in. tej właśnie rekomendacji rozpoczęto realizację prezentowanych tu kolejnych prac cyklu.

### Główne cele

Główne cele towarzyszące powstawaniu prezentowanego przeze mnie cyklu prac można scharakteryzować następująco:

- 1) **Cel ściśle poznawczy - Pogłębienie stanu wiedzy o zależnościach pomiędzy różnymi składnikami zawieszonymi w wodzie morskiej a właściwościami optycznymi wód drugiego rodzaju.**
- 2) **Cel praktyczny - Wskazanie możliwości wykorzystania tej zdobytej nowej wiedzy w rozwoju metod optycznej detekcji składników zawieszonych w wodzie morskiej.**

Te dwa główne i ogólnie sformułowane cele realizowano w każdej z czterech prezentowanych prac poprzez realizację właściwych im bardziej konkretnych celów szczegółowych. Poniżej pokrótce charakteryzuję strategie postępowania przyjęte w każdej z czterech prac cyklu, oraz podsumowuję najważniejsze osiągnięte w nich wyniki.

### Publikacja 1. Woźniak i Stramski, 2004 (*Applied Optics*)

(dotychczasowa ilość cytowań: 72 wg bazy Web of Science, 80 wg bazy Scopus)

Jest to praca w której do pogłębienia wiedzy o właściwościach optycznych cząstek zawiesin pochodzenia mineralnego zdecydowano się wykorzystać modelowanie teoretyczne. Motywacją do przyjęcia takiej właśnie strategii był wyraźny brak w owym czasie dostępnych szczegółowych danych pomiarowych o właściwościach optycznych zawiesin mineralnych. Modelowanie zdecydowano się prowadzić z wykorzystaniem teorii rozpraszania światła Mie dla cząstek sferycznych. Jako dane wejściowe przyjęto w nim różne możliwe rozkłady rozmiarów cząstek mineralnych oraz różne wartości zespolonego współczynnika załamania światła. W efekcie przeprowadzonego modelowania uzyskano spektralne rozkłady współczynników absorpcji, rozpraszania i rozpraszania wstecz światła przez zawiesiny w zakresie długości fal światła 350-750 nm. Współczynniki te zaprezentowano między innymi w postaci unormowanej do stężenia masowego zawiesiny, czyli jako tzw. specyficzne-masowe współczynniki optyczne (ang. *mass-specific optical coefficients*). Następnie wykorzystano też stosunek spektralnego współczynnika rozpraszania światła wstecz do sumy spektralnych współczynników absorpcji oraz rozpraszania wstecz ( $b_b(\lambda)/[a(\lambda)+b_b(\lambda)]$ ) i wartości takie wykorzystano do oszacowania spektralnych rozkładów zdalnej reflektancji morza dla różnych właściwości oraz stężeń cząstek mineralnych zawieszonych w wodzie morskiej. Przeprowadzone modelowania wykazało, że parametryzowanie właściwości absorpcyjnych i rozpraszających cząstek mineralnych oraz ich wpływu na reflektancję morza jedynie poprzez stężenie masowe cząstek jest nieodpowiednie. Stwierdzono, że zmienność rozkładów rozmiarów cząstek oraz wartości zespolonego współczynnika załamania światła powinno być również brane pod uwagę. Oszacowane na drodze modelowania właściwości optyczne zawiesin mineralnych wykorzystano również do wskazania możliwych błędów w estymacjach zawartości chlorofilu z wykorzystaniem powszechnie stosowanych algorytmów satelitarnych (takich jak OC2, OC4 czy chlor\_MODIS, opracowanych dla w większości otwartych wód oceanicznych czyli wód pierwszego rodzaju). Stwierdzono, że ze względu na możliwe występowanie nawet relatywnie niewielkich stężeń cząstek pochodzenia mineralnego, błędy analizowanych algorytmów chlorofilowych mogą być bardzo duże. Przykładowo, kiedy stężenie masowe cząstek mineralnych wynosi około  $1 \text{ g m}^{-3}$ , a faktyczna zawartość chlorofilu  $a$  jest niska (rzędu  $0.05 \text{ mg m}^{-3}$ ), analizowane algorytmy bazujące na proporcjach pomiędzy kanałami spektralnymi reflektancji z zakresu

niebieskiego i zielonego (tzw. ang. *blue-to-green ratio*) mogą przeszacowywać faktyczną zawartość chlorofilu *a* od o około 50% do nawet 20-tu razy. Wyniki pracy zasugerowały potrzebę zainteresowania się społecznością oceanologów i oceanografów problemami występowania zawiesin mineralnych nie tylko w przypadku wód przybrzeżnych. Skądinąd wiadomo bowiem, że w wyniku opadów niesionych z wiatrami pyłów pustynnych z różnych rejonów kuli ziemskiej, niewielkie stężenia takich zawiesin występować mogą nawet bardzo daleko od lądów, na obszarach otwartego oceanu.

Należy w tym miejscu zwrócić również uwagę, że jednocześnie z powstawaniem omawianej tu pracy wykorzystującej modelowanie teoretyczne, w laboratorium prof. Stramskiego w Scripps Institution of Oceanography prowadzono również eksperymenty laboratoryjne zmierzające do określenia właściwości optycznych zawiesin mineralnych na drodze empirycznej. Wyniki tego typu eksperymentów laboratoryjnych zaprezentowano m.in. w pracach opublikowanych prawie równocześnie lub nieznacznie później (patrz prace Stramski, Woźniak i Flatau, 2004, oraz Stramski, Babin i Woźniak, 2007, przytaczane też dalej w punkcie 5 niniejszego autoreferatu).

**Publikacja 2.** Woźniak i inni, 2010 (*Journal of Geophysical Research*)

(dotychczasowa ilość cytowań: 17 wg bazy Web of Science, 19 wg bazy Scopus)

Jest to praca oparta o analizę danych empirycznych zbieranych podczas regularnie prowadzonych eksperymentów na próbach wody morskiej pobieranych z jednej określonej lokalizacji w przybrzeżnym akwenu na zachodnim wybrzeżu Stanów Zjednoczonych. Akwen poboru prób ze względu na swoją lokalizację stanowił skomplikowany przypadek wód drugiego rodzaju. Dzięki kilkunastomiesięcznej rozpiętości czasowej badań (grudzień 2004 - lipiec 2006) pobieranie próby były bardzo zróżnicowane i reprezentowały szerokie spektrum możliwych zmian składu populacji cząstek zawiesin - od sytuacji dominowanych występowaniem cząstek mineralnych podczas okresów spływów do oceanu wód opadowych z rejonów pustynnych oraz podczas wywoływanej falowaniem mobilizacji materiału mineralnego z dna morskiego, poprzez próby mieszane, aż po próby o wysokim udziale materii organicznej charakterystyczne dla okresowych zakwitów fitoplanktonu morskiego. W pracy przeanalizowano zmienność optycznych właściwości wody morskiej w relacji do stężeń, składu i rozkładu rozmiarów cząstek zawartych w niej zawiesin. Przeprowadzone pomiary optyczne obejmowały analizy spektralnych rzeczywistych właściwości optycznych wody morskiej takich jak współczynniki osłabiania światła przez zawiesiny, oraz współczynnik absorpcji światła przez zawiesiny i tzw. substancje żółte (ang. *colour dissolved organic matter* (CDOM)) w zakresie spektralnym 300-800 nm. Analizy biogeochemicznych właściwości zawiesin obejmowały natomiast pomiary rozkładu rozmiarów cząstek zawiesin (w zakresie 2-60  $\mu\text{m}$ ), oraz analizy następujących stężeń: stężenia masowego zawiesiny (ang. *suspended particulate matter* (SPM)), stężenia cząsteczkowego węgla organicznego (ang. *particulate organic carbon* (POC)), i stężenia chlorofilu *a* (Chl *a*). Jak już wspomniano zarejestrowane populacje cząstek zawiesin reprezentowały szeroki zakres zmienności ze względu zarówno na stężenie jak i ich skład. Stwierdzono między innymi, że w przypadkach w których dominowały cząstki mineralne (dla których stosunek stężeń POC/SPM < 0.06) rozkłady rozmiarów były relatywnie mocno nachylone (duży udział małych cząstek w ogóle cząstek zawiesiny). Natomiast przypadki w których istotne znaczenie lub nawet dominację przejmowały cząstki organiczne (stosunek stężeń POC/SPM > 0.25) charakteryzowały się relatywnie większym wkładem dużych cząstek do całkowitego rozkładu rozmiarów. Duża zmienność stężeń i charakterystyk biogeochemicznych zawiesin w analizowanych próbach powodowała odpowiednio dużą zmienność rzeczywistych właściwości optycznych. Zarejestrowane

bezwzględne wartości współczynników absorpcji i rozpraszania światła przez zawiesiny charakteryzowały się prawie stukrotną zmiennością. Natomiast zmienność specyficznych współczynników optycznych (współczynników normowanych do wartości stężeń SPM lub POC) była również znacząca - często wielokrotna. Analizy zebranych danych pokazały, że znajomość podstawowych parametrów biogeochemicznych charakteryzujących skład i rozkład rozmiarów cząstek zawiesiny prowadzi do ulepszenia i pogłębienia zrozumienia i interpretacji obserwowanej zmienności właściwości optycznych cząstek. W pracy zaprezentowano również przykład wykorzystania zebranej wiedzy o zależnościach pomiędzy biogeochemią a optyką wód morskich w tym badanym skomplikowanym akwenu przybrzeżnym. Przedstawiono między innymi przykładowe dwa warianty kilkustopniowego algorytmu empirycznego mogącego służyć do szacowania wybranych wielkości opisujących bezwzględne stężenia cząstek (stężenia SPM i POC), skład cząstek (np. stosunek stężeń POC/SPM), czy też rozkład rozmiarów cząstek (mediana ekwiwalentnego sferycznego rozmiaru cząstek) na podstawie możliwych do określania w pomiarach prowadzonych in situ wartości wybranych rzeczywistych właściwości optycznych. Pierwszy krok takiego algorytmu dostarczać może informacji o szacowanym składzie cząstek zawiesiny (o stosunku POC/SPM) i pozwala na określenie przynależności do jednej z trzech kategorii: kategorii dominowanej cząstkami mineralnymi, mieszanej bądź dominowanej cząstkami organicznymi. Wykorzystywać do tego celu można np. wartość stosunku współczynników absorpcji światła przez cząstki w pasmach czerwonym i żółtym ( $a_p(675)/a_p(570)$ ). Natomiast pozostałe wielkości biogeochemiczne (bezwzględne wartości stężeń SPM i POC czy też mediana rozkładu rozmiarów cząstek) mogłyby być następnie szacowane na podstawie statystycznych relacji odpowiednich dla każdej z trzech wyróżnionych kategorii składu zawiesin. W tym drugim kroku można wykorzystywać np. nachylenie widma współczynnika rozpraszania światła przez zawiesiny  $b_p(\lambda)$  oraz wartość współczynnika absorpcji światła przez zawiesiny w paśmie fioletowym ( $a_p(400)$ ). W przypadku zbioru danych analizowanych w pracy błędy statystyczne zaproponowanych przykładowych algorytmów wynosiły generalnie od około 20% do 30%.

### **Publikacja 3.** Woźniak i inni, 2011 (*Oceanologia*)

(dotychczasowa ilość cytowań: 4 wg bazy Web of Science, 4 wg bazy Scopus)

Jest to praca poruszająca problematykę zmienności rzeczywistych właściwości optycznych zawiesin występujących w wodach południowego Bałtyku. Wody tego akwenu są również zaliczane do kategorii wód drugiego rodzaju, są jednak przykładem ekstremalnie różnym od przybrzeżnych wód oceanicznych analizowanych w poprzedniej publikacji cyklu. Zawiesiny występujące w wodach bałtyckich mają w przeważającej większości przypadków pochodzenie organiczne, i zwykle też współwystępują w wodzie morskiej jednocześnie z dużymi zawartościami organicznych substancji rozpuszczonych pochodzenia zarówno alo- jak i autogenicznego. Ten fakt powodować może i powoduje dodatkową trudność zarówno w kontaktowej jak i zdalnej detekcji składników wody morskiej prowadzonej w tym akwenu. W pracy analizowane są wyniki pomiarów polowych właściwości optycznych zawiesin morskich i ich zależności od podstawowych charakterystyk biogeochemicznych opisujących populacje cząstek zawiesin występujących w powierzchniowych wodach badanego akwenu południowego Bałtyku. Dane empiryczne zebrano na ponad 300 stacjach pomiarowych zlokalizowanych w rejonie zarówno otwartych wód Bałtyku jak i w przybrzeżnych rejonach zatoki Gdańskiej podczas rejsów badawczych na statku r/v Oceania prowadzonych w latach 2006-2009. Mierzonymi rzeczywistymi właściwościami optycznymi były wielkości takie jak współczynniki absorpcji światła przez ogół cząstek zawiesin, przez pigmenty fitoplanktonu i cząstki

detrytusu (w zakresie 350-750 nm), oraz współczynniki rozpraszania i rozpraszania wstecz światła przez zawiesiny (dla wybranych długości fal światła z zakresu widzialnego). Natomiast spośród charakterystyk biogeochemicznych zawiesin określano wartości stężenia masowego cząstek zawiesin (SPM), stężenia frakcji organicznej zawiesin (POM), stężenia cząsteczkowego węgla organicznego (POC) czy też stężenia całkowitego chlorofilu *a* (Chl *a*). Zebrane dane empiryczne udokumentowały bardzo duże zmienności zarówno analizowanych stężeń jak i rzeczywistych właściwości optycznych (zmienności sięgające dwóch rzędów wielkości) w badanych rejonach Morza Bałtyckiego. Mimo że w większości przypadków zarejestrowane populacje cząstek zawiesin składały się głównie z materii organicznej (średnia wartość stosunku stężeń POM/SPM wynosiła około 0.8), to jednak analizy zmienności tego konkretnego stosunku pomiędzy poszczególnymi próbami, jak i innych stosunków stężeń (takich jak stosunki POC/SPM oraz Chl *a*/SPM), wskazały, że w badanych akwenach skład populacji cząstek ulegać może mimo wszystko istotnym zmianom. Głównym elementem pracy była analiza zależności pomiędzy właściwościami optycznymi a wielkościami biogeochemicznymi. W pracy udokumentowano znaczną zmienność tzw. specyficznych współczynników optycznych (czyli współczynników optycznych normowanych do poszczególnych stężeń cząstek) - zmienność ta wyrażana poprzez wartości współczynnika zmienności (ang. *coefficient of variation*, CV) wynosiła co najmniej 46%. W pracy określono również statystyczne przybliżenia relacji pomiędzy właściwościami optycznymi a wielkościami biogeochemicznymi z wykorzystaniem funkcji potęgowych. Analizy takie wykazały, że również w przypadku stosowania nieliniowych przybliżeń nadal występować mogą istotne wartości błędów statystycznych z nimi stowarzyszonych. Stwierdzono więc, że dla prób wody morskiej z rejonu południowego Bałtyku nie jest możliwa prosta i jednocześnie wysoce dokładna "kwantyfikacja" rzeczywistych właściwości optycznych w funkcji jednego tylko z parametrów biogeochemicznych: czy to SPM, POM, POC, czy też Chl *a*. Mimo tych nieco negatywnych w swoim wydźwięku wniosków (przynajmniej z punktu widzenia badaczy zainteresowanych prowadzeniem optycznej detekcji składników tego akwenu), w pracy wskazano na przykładowy zestaw wybranych kilku "najlepszych" formuł statystycznych. Wybrane formuły mogą pozwalać na zgrubne szacowanie wartości parametrów biogeochemicznych zawiesin na podstawie względnie łatwo mierzalnych rzeczywistych właściwości optycznych. Wskazano w ten sposób między innymi na możliwość szacowania stężeń SPM, POM i POC z wykorzystaniem współczynnika rozpraszania światła przez zawiesiny  $b_p$  w zakresie światła zielonego (555 nm) lub czerwonego (650 oraz 676 nm) (wartości tego współczynnika są relatywnie łatwo mierzalne z wykorzystaniem komercyjnych przyrządów typu "ac-9" (Wetlabs Inc.) lub podobnych). Wskazano również na możliwość szacowania stężenia Chl *a* z wykorzystaniem współczynnika absorpcji światła przez cząstki  $a_p$  dla światła niebieskiego (440 nm). Zaprezentowane przykładowe zależności mogą być wykorzystywane w praktyce, jednak ze świadomością, że stowarzyszone z ich stosowaniem możliwe błędy estymacji mogą sięgać poziomu 40 - 50%.

#### **Publikacja 4.** Woźniak, 2014 (*Oceanologia*)

(nowa praca - bazy Web of Science oraz Scopus dotychczas nie odnotowały jeszcze cytowań tej pracy)

Praca ta jest kolejnym krokiem w analizach zebranych wcześniej danych o właściwościach optycznych wód południowego Bałtyku (materiał empiryczny zebrany w latach 2006-2009). W odróżnieniu od 3-ciej publikacji cyklu, w tej pracy skupiono się na próbie wskazania praktycznych i relatywnie prostych formuł statystycznych mogących



służyć szacowaniu różnych właściwości biogeochemicznych zawiesin morskich z wykorzystaniem technik zdalnej detekcji optycznej. W pracy zastosowano dwa różne podejścia metodyczne. Pierwsze z nich polegało na wykorzystaniu dostępnego materiału empirycznego (czyli rezultatów pomiarów polowych rzeczywistych właściwości optycznych i analiz laboratoryjnych dyskretnych prób przypowierzchniowej warstwy wody morskiej) i znalezieniu statystycznych formuł do szacowania właściwości biogeochemicznych zawiesin na podstawie tych spośród rzeczywistych właściwości optycznych, które potencjalnie są możliwe do szacowania na podstawie zdalnych pomiarów optycznych. Drugie z podejść polegało natomiast na znalezieniu formuł statystycznych, które pozwalałyby szacować właściwości biogeochemiczne zawiesin bezpośrednio z rejestrowanych zdalnie wartości spektralnych zdalnej reflektancji morza  $R_{rs}$ . W podejściu tym wykorzystywano statystyczne analizy syntetycznego zbioru widm  $R_{rs}$  uzyskanego w wyniku numerycznych symulacji procesów przenoszenia energii promienistej (wykorzystywano model "Hydrolight" (Sequoia Sci.)). W symulacjach tych, jako dane wejściowe, użyto dostępnych danych empirycznych o rzeczywistych właściwościach optycznych wody morskiej oraz właściwościach biogeochemicznych zawiesin. Spośród opracowanej pierwszej grupy formuł, czyli formuł "czysto" empirycznych, wykorzystujących wybrane rzeczywiste właściwości optyczne wody morskiej, relatywnie najkorzystniejsze statystyki błędów uzyskano dla przypadków szacowania stężeń SPM i POM na podstawie wartości współczynnika rozpraszania światła wstecz  $b_{bp}$  dla pasma niebieskiego (443 nm). Uzyskiwane wartości tzw. czynnika błędu wynosiły w tych przypadkach między 1.4 a 1.5, co w świetle występującej w badanym akwenu kilkudziesięciokrotnej naturalnej zmienności szacowanych wielkości biogeochemicznych wydaje się być wynikiem przynajmniej zadowalającym. W przypadkach szacowania stężeń POC i Chl *a* relatywnie najlepsze rezultaty uzyskano wykorzystując wartości współczynnika absorpcji światła przez sumę substancji zawieszonych i rozpuszczonych w wodzie morskiej  $a_n$ , odpowiednio dla pasma niebieskiego (443 nm) i zielonego (555 nm). Jednak uzyskiwane odpowiednie wartości czynnika błędu były w tych przypadkach już nieco większe i mieściły się w zakresie od około 1.5 do 1.6. Zaprezentowane w pracy przykłady formuł empirycznych mogą być w przyszłości wykorzystane do sformułowania dwu-stopniowych algorytmów teledetekcji optycznej. Mogłyby one stanowić drugi z kroków takich algorytmów, podczas gdy krokiem pierwszym musiałyby być oszacowanie wartości wybranej rzeczywistej właściwości optycznej (wartości współczynnika  $b_{bp}$  lub  $a_n$  dla wybranej długości fali światła) na podstawie zdalnej reflektancji morza  $R_{rs}$ . Natomiast w przypadku analizowanej w pracy drugiej grupy formuł, czyli formuł pół-empirycznych, wykorzystujących bezpośrednio wartości zdalnej reflektancji morza, najkorzystniejsze statystyki błędów uzyskano w przypadku wykorzystania do szacowania stężeń SPM, POM i POC jednego i tego samego stosunku wartości  $R_{rs}$  w pasmach niebieskim i czerwonym ( $R_{rs}(490)/R_{rs}(645)$ ). Przy czym należy zaznaczyć, że relatywnie najwyższą dokładność uzyskiwano w przypadku szacowania stężeń SPM i POM (wartości czynnika błędu wynoszące około 1.3), natomiast nieco gorszą w przypadku stężenia POC (wartość czynnika błędu wynosząca prawie 1.6). Obiecujące wyniki uzyskano również w przypadku zastosowania formuł wykorzystujących nie stosunek spektralny, ale samą bezwzględną wartość reflektancji w paśmie czerwonym (np. wartość  $R_{rs}(645)$ ). Natomiast w przypadku stężenia Chl *a* najlepszym do jego szacowania okazał się być stosunek reflektancji dla pasm zielonego i czerwonego ( $R_{rs}(555)/R_{rs}(645)$ ) (uzyskiwana wartość czynnika błędu wynosiła około 1.4). Zaprezentowane w pracy przykłady formuł pół-empirycznych, oraz w szczególności manifestowana przez nie możliwość wykorzystania informacji jaką niesie ze sobą zdalna reflektancja morza w zakresie światła czerwonego, mogą stanowić punkt

wyjścia do opracowywania nowych bezpośrednich algorytmów teledetekcyjnych odpowiadających lokalnym i specyficznym warunkom panującym w wodach południowego Bałtyku.

## Podsumowanie

Zaprezentowane powyżej cztery prace stanowią kolejne elementy cyklu: "Badanie i modelowanie zależności pomiędzy składnikami zawieszonymi w wodzie morskiej a rzeczywistymi i pozornymi właściwościami optycznymi w wodach drugiego rodzaju". W przypadku trzech pierwszych prac jestem ich pierwszym autorem, a moi współpracownicy zgodnie potwierdzili (patrz załączone oświadczenia) moją wiodącą rolę podczas ich realizacji. Ostatnia czwarta praca jest natomiast moją pracą samodzielną.

W każdej z czterech prac realizowano oba założone główne cele badawcze, tj. zarówno cel ściśle poznawczy jak i cel praktyczny. Odnosnie realizacji celu poznawczego, w moim przekonaniu ten zbiór prac stanowi ważny przyczynek do pogłębienia stanu wiedzy o właściwościach optycznych zawiesin morskich występujących w różnych akwenach drugiego rodzaju. W pierwszej pracy skoncentrowano się na właściwościach optycznych zawiesin pochodzenia czysto mineralnego. W drugiej pracy przedmiotem analiz były właściwości optyczne wody morskiej w środowisku, w którym występować mogą w znaczących ilościach zarówno zawiesiny mineralne jak i organiczne. Prace trzecia i czwarta poruszają natomiast tematykę właściwości optycznych środowiska morskiego dominowanego występowaniem zawiesin pochodzenia głównie organicznego i jednocześnie współwystępujących z dużymi stężeniami rozpuszczonych substancji organicznych. Co ważne, we wszystkich czterech pracach zwrócono uwagę na znaczne skomplikowanie relacji pomiędzy właściwościami optycznymi wód a występowaniem w nich różnych składników zawieszonych. Wskazano między innymi na zwykle dużą lub bardzo dużą zmienność tzw. specyficznych właściwości optycznych, co w efekcie powoduje, że praktyczne szacowanie metodami optycznymi interesujących nas stężeń i właściwości zawiesin morskich, z wykorzystaniem jedynie prostych relacji, często może być utrudnione i obarczone znaczącymi błędami. W dwu pierwszych pracach, w których zastosowana metodyka pozwalała na wnioskowanie lub na bezpośredni pomiar rozkładu rozmiarów cząstek zawiesin, wskazano na bardzo istotną rolę możliwej naturalnej zmienności tegoż rozkładu na właściwości optyczne zawiesin i w efekcie na właściwości optyczne badanych wód. Mimo tych udokumentowanych faktów świadczących o znacznej złożoności relacji pomiędzy optyką wód a biogeochemią występujących w nich zawiesin, w każdej z czterech prac realizowano również cel praktyczny. W pierwszej pracy dokonano tego poprzez oszacowanie możliwych zakresów błędów, jakie przy wykorzystaniu współczesnych standardowych algorytmów satelitarnych służących ocenie stężenia chlorofilu *a*, może wprowadzać obecność w wodzie nawet niewielkich stężeń zawiesin mineralnych. W drugiej i trzeciej pracy, w ramach realizacji celu praktycznego, zaprezentowano jak dla różnych badanych środowisk morskich mogłyby wyglądać relatywnie proste algorytmy interpretacji wyników kontaktowych pomiarów optycznych służące odtwarzaniu informacji o właściwościach biogeochemicznych zawiesin morskich. W czwartej pracy zaprezentowano zaś przykładowe zależności statystyczne mogące stanowić przyczynek do rozwoju algorytmów satelitarnych służących szacowaniu różnych właściwości biogeochemicznych zawiesin występujących w wyjątkowo skomplikowanych pod względem optycznym wodach Morza Bałtyckiego.

Oczywiście należy sobie zdawać też sprawę, że osiągnięte w zaprezentowanym cyklu istotne i znaczące wyniki badań, nie wyczerpują szerokiej problematyki właściwości optycznych morskich zawiesin występujących w różnych akwenach drugiego rodzaju. W

tej materii pozostaje jeszcze zapewne bardzo wiele do zrobienia, zarówno w kwestiach ogólnopoznawczych jak i tych czysto praktycznych. Rezultaty zaprezentowane w omawianym cyklu prac pomagają jednak między innymi uzyskać większą świadomość zakresu oraz ograniczeń aktualnej wiedzy oraz jednocześnie wskazują na możliwe kierunki dalszego rozwoju. I tak na przykład w przypadku badań wód Morza Bałtyckiego, jednym z praktycznych problemów, który z pewnością warto poruszyć w najbliższej przyszłości, jest potrzeba uwzględnienia wpływu zmienności rozkładu rozmiarów cząstek zawiesin organicznych na ich właściwości optyczne. Konieczne wydaje się między innymi, wprowadzenie pomiarów tegoż rozkładu do zestawu rutynowych czynności uzupełniających badania właściwości optycznych i biogeochemicznych składników wody morskiej prowadzonych podczas pełnomorskich ekspedycji badawczych. Takie działania są już w ostatnim czasie podejmowane w mojej macierzystej instytucji - Instytucie Oceanologii PAN w Sopocie. W przypadku badań różnych akwenów drugiego rodzaju, nie tylko wód bałtyckich, zarysowuje się też potrzeba tworzenia, bardziej skomplikowanych niż dotychczasowe, praktycznych modeli opisujących zależności pomiędzy optyką a biogeochemią zawiesin. Aby w przyszłości umożliwić dokładniejsze metody szacowania interesujących nas wielkości charakteryzujących składniki zawieszony w wodzie morskiej na podstawie kontaktowych oraz zdalnych pomiarów optycznych, stosowane w praktyce przyszłe modele i algorytmy będą zapewne musiały być modelami co najmniej kilkuskładnikowymi i jednocześnie wielopasmowymi spektralnie. W podjęciu się realizacji takich właśnie ambitnych przyszłych zadań upatruję szansę na rozwój swojej dalszej kariery naukowej.

### Literatura

- Dera, J., 2003, *Fizyka Morza*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa, 541 s.
- IOCCG, 2000, *Remote Sensing of Ocean Colour in Coastal, and Other Optically-Complex Waters*, w: S. Sathyendranath (Edytor), Reports of the International Ocean-Colour Coordinating Group, No. 3, IOCCG, Dartmouth, Canada, 140 s.
- Mobley, C.D., 1994, *Light and Water; Radiative transfer in natural waters*, Acad. Press, San Diego, 592 s.
- Morel, A., i S. Maritorena, 2001, *Bio-optical properties of oceanic waters: a reappraisal*, J. Geophys. Res., 106, 7163–7180.
- Morel, A. i L. Prieur, 1977, *Analysis of variations in ocean color*, Limnol. Oceanogr. 22, 709–722.

### 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Poniżej prezentuję krótkie omówienie pozostałych moich osiągnięć naukowo - badawczych, innych niż te zaprezentowane w punkcie 4 niniejszego autoreferatu. Prezentacji tej dokonuję na tle rysu historycznego mojej działalności ze szczególnym uwypukleniem głównych efektów w postaci najważniejszych publikacji recenzowanych, które powstały z moim istotnym udziałem. W prezentacji tej rozgraniczam okresy przed i po uzyskaniu stopnia naukowego doktora. Na koniec podaję też krótkie podsumowanie mojej dotychczasowej działalności prezentując między innymi kilka charakterystyk liczbowych. Więcej szczegółów można natomiast znaleźć w załączonym do tego wniosku kolejnym dokumencie (patrz załącznik nr 3: "Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informacja o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki").

## Działalność w okresie przed uzyskaniem stopnia naukowego doktora

W okresie pierwszych lat mojej pracy naukowej do uzyskania stopnia naukowego doktora (1995-2000) głównym obszarem mojej działalności było prowadzenie teoretycznego modelowania właściwości optycznych sfalowanej powierzchni morza. Z tą tematyką miałem okazję zetknąć się jeszcze podczas studiów przy okazji przygotowywania pracy magisterskiej. Studiując na kierunku fizyka teoretyczna na wydziale Matematyki i Fizyki Uniwersytetu Gdańskiego, dzięki indywidualnemu programowi studiów i osobie mojego opiekuna naukowego i promotora przyszłych prac magisterskiej i doktorskiej, Pana prof. dr hab. Jerzego Dery, oprócz studiowania przedmiotów wykładanych na moim wydziale, miałem okazję dodatkowo zapoznać się z niektórymi przedmiotami wykładanymi dla studentów kierunku oceanografii UG (przedmiotami takimi jak oceanografia fizyczna, podstawy hydrodynamiki oraz hydrochemia). Pozwoliło to mi na przygotowanie pracy magisterskiej łączącej zdobytą wiedzę teoretyczną z dziedzin matematyki i fizyki z rozwiązywaniem problemów istotnych dla oceanologii. W roku 1995 obroniłem pracę pod tytułem "Matematyczny model odbicia i transmisji oświetlenia naturalnego przez sfalowaną powierzchnię morza". Wyniki uzyskane w tej pracy pozwoliły mi na przygotowanie moich trzech pierwszych samodzielnych publikacji naukowych, które ukazały się w czasopiśmie *Oceanologia*:

- Woźniak, 1996a (*Oceanologia*)  
(dotychczasowa ilość cytowań: 8 wg bazy Scopus)

*To praca omawiająca problemy statystycznego opisu sfalowanej powierzchni morza dla celów modelowania jej właściwości optycznych. W pracy zaproponowałem wykorzystanie średniej wysokości fal wiatrowych, jako wielkości służącej do parametryzowania rozkładu nachyleń sfalowanej powierzchni morza oraz stopnia pokrycia tej powierzchni pianą. W odróżnieniu, od stosowanej wcześniej prędkości wiatru nad akwenem, zaproponowana wielkość - średnia wysokość fal wiatrowych - może uwzględniać wpływ różnych czynników hydrometeorologicznych i geometrycznych modyfikujących stan sfalowania powierzchni morza (takich jak rozciągłość działania wiatru nad akwenem, głębokość akwenu, kształt linii brzegowej, itp.). W pracy podałem zmodyfikowane postaci rozkładu nachyleń sfalowanej powierzchni morza (oryginalnie wg Cox i Munk (1954)) oraz formuły na stopień pokrycia powierzchni morza pianą (oryginalnie wg Gordon i Jacobs (1977)), zaprezentowałem też teoretyczne uzasadnienie zaproponowanych modyfikacji oraz przeprowadziłem ich wstępną weryfikację w oparciu o dostępne dane literaturowe.*

- Woźniak, 1996b (*Oceanologia*) oraz Woźniak, 1997 (*Oceanologia*)  
(dotychczasowe ilości cytowań: odpowiednio 7 i 6 wg bazy Scopus)

*To cykl dwóch prac, w których zaprezentowałem spektralny model odbicia i transmisji oświetlenia naturalnego przez sfalowaną powierzchnię morza. Pierwsza z nich omawia aparat matematyczny modelu, w którym wykorzystuje się prawa optyki geometrycznej (prawa Snella i Fresnela) w połączeniu ze statystycznym opisem rozkładu nachyleń sfalowanej powierzchni morza. Efekty polaryzacyjne zostały w tym modelu pominięte. Druga praca prezentuje wyniki uzyskane z zastosowaniem tego modelu, w tym między innymi obliczone wartości współczynników odbicia i transmisji oświetlenia powierzchni (światłem skierowanym i dyfuzyjnym), dla kątów zenitalnych słońca od  $1^\circ$  -  $85^\circ$ , dla różnych stanów sfalowania i różnych stopni dyfuzyjności oświetlenia w atmosferze. Dodatkowo w pracy zaprezentowałem również uproszczoną metodę wielomianową*

*ułatwiająca szacowanie przybliżonych wartości analizowanych współczynników optycznych.*

Oprócz opublikowania tych trzech samodzielnych prac, w pierwszych latach mojej działalności udało mi się też wystąpić z trzema referatami na międzynarodowych konferencjach naukowych, w tym między innymi po raz pierwszy na cyklicznej prestiżowej konferencji dla specjalistów zajmujących się optyką morza (konferencja *Ocean Optics*). Dwa z tych referatów miałem okazję również opublikować w całości w materiałach pokonferencyjnych w formie tzw. *extended abstracts*. Za zbiór złożony z w sumie pięciu prac - 3 wymienionych powyżej publikacji recenzowanych oraz dwóch referatów konferencyjnych - zostałem wyróżniony nagrodą im. Maurycego Piusa Rudzkiego przyznawaną przez wydział Nauk o Ziemi i Nauk Górniczych PAN.

Uzyskiwane w tym okresie wyniki prac teoretycznych dotyczących odbicia i transmisji światła przez sfalowaną powierzchnię morza zostały też wykorzystane do przygotowania opublikowanej kilka lat później pracy B. Woźniak i inni, 2003 (*ICES Cooperative Research Reports*). Praca ta dotyczyła oceny sezonowej zmienności energii słonecznej docierającej do powierzchni południowego Bałtyku i jej wykorzystania w różnych procesach w wodach tego akwenu.

Zwieńczeniem początkowego okresu mojej działalności naukowej było przygotowanie rozprawy doktorskiej pod tytułem "Modelowanie właściwości optycznych sfalowanej powierzchni morza". Rozprawa ta stanowiła znaczące rozszerzenie tematyki podjętej w pracy magisterskiej i pierwszych moich publikacjach. Zaprezentowałem w niej między innymi dwa modele matematyczne. Pierwszy z nich to szczegółowy spektralny model fresnelowskiego odbicia i transmisji światła przez sfalowaną powierzchnię morza, w którym uwzględniona może być również polaryzacja światła. Drugi natomiast był kompleksowym spektralnym modelem albedo morza tuż nad jego powierzchnią. Wybrane rezultaty i doświadczenie wpływające z tej pracy udało mi się później wykorzystać jako mój wkład do projektu DESAMBEM. W wyniku tego kilka lat później powstały dwie wieloautorskie prace z moim udziałem. O pracach tych wspominam dalej przy okazji omawiania osiągnięć po uzyskaniu stopnia doktora.

Oprócz prowadzenia prac teoretycznych w pierwszych latach mojej działalności miałem też okazję uczestniczyć w licznych morskich wyprawach badawczych, podczas których zapoznawałem się z praktyką morskich badań polowych oraz prac i analiz laboratoryjnych. Uczestniczyłem zarówno w krótkich rejsach badawczych Zakładu Fizyki Morza IO PAN w rejonie polskiej strefy ekonomicznej wód Bałtyku, jak i dwu dłuższych wyprawach naukowych IO PAN w rejony północnego Atlantyku i archipelagu Svalbard, oraz w jednej wyprawie organizowanej przez pracowników Instytutu Oceanologii im. Shirshov'a Rosyjskiej Akademii Nauk w rejony morza Czarnego i Egejskiego. Udział w tej ostatniej wyprawie zaowocował między innymi moim współautorstwem w wieloautorskiej pracy Artemyev i inni, 2000 (*Oceanology*). Wszyscy autorzy tej pracy zostali później wyróżnieni przez wydające to czasopismo rosyjskie wydawnictwo Nauka/Interperiodica.

### **Działalność w okresie po uzyskaniu stopnia naukowego doktora**

W pierwszych latach po uzyskaniu stopnia naukowego doktora zająłem się zagadnieniami związanymi z bilansem energii promienistej powierzchni morza. W moim Instytucie byłem inicjatorem budowy odpowiedniego zestawu pomiarowego, który pozwalał w warunkach morskich prowadzić ciągłe pomiary strumieni odgórnego i oddolnego promieniowania zarówno krótko- jak i długofalowego (słonecznego i termicznego) tuż nad powierzchnią morza, i w oparciu o wyniki takich pomiarów określać

bilans energii promienistej na powierzchni morza. W wyniku działalności badawczej prowadzonej w rejonie południowego Bałtyku powstał między innymi cykl dwóch prac:

- Zapadka i Woźniak, 2000 (*Oceanologia*) oraz Zapadka, Woźniak i B. Woźniak, 2001 (*Oceanologia*)  
(dotychczasowe ilości cytowań: odpowiednio 3 i 15 wg bazy Scopus)

*To cykl prac dotyczących praktycznych modeli wymiany promieniowania długofalowego pomiędzy powierzchnią morza i atmosferą, wykorzystujących jako dane wejściowe wyniki pomiarów standardowych obserwacji meteorologicznych (pomiarów wielkości takich jak temperatury wody i powietrza, wilgotność pary wodnej przy powierzchni morza oraz stopień zachmurzenia nieba). W pierwszej z prac dokonano porównania wyników przewidywań modeli znanych z literatury z danymi eksperymentalnymi zbieranymi w rejonie południowego Bałtyku podczas rejsów na statku r/v Oceania. W pracy stwierdzono, że w mniejszym lub większym stopniu wszystkie analizowane i stosowane wcześniej modele były obciążone znaczącymi wartościami błędów zarówno systematycznych i statystycznych. W drugiej z prac zaproponowano nową praktyczną formułę służącą szacowaniu wypadkowego strumienia promieniowania długofalowego na powierzchni morza odpowiednią dla rejonu południowego Bałtyku. Dla opracowanej nowej formuły błąd systematyczny wynosił poniżej  $1 \text{ W m}^{-2}$ , a błąd statystyczny poniżej  $20 \text{ W m}^{-2}$ , co stanowiło znaczącą poprawę w porównaniu do formuł i modeli stosowanych wcześniej.*

Dodatkowo, dane dotyczące bilansu energii promienistej w zakresach krótko- i długofalowym zgromadzone w rejonie północnego Atlantyku oraz wód w okolicach zachodniego Spitsbergenu zostały wykorzystane jako jeden z elementów pracy Piechura i inni, 2002 (*Oceanologia*) omawiającej bilans energii na powierzchni morza (obejmujący zarówno bilans energii promienistej jak i ciepła odczuwalnego i utajonego) oraz horyzontalnych strumieni transportu ciepła i transportu soli w badanych rejonach oceanicznych w okresie arktycznego lata.

W drugiej połowie roku 2001 wyjechałem na pierwszy z dwóch okresów mojego stażu w Scripps Institution of Oceanography, University of California San Diego. W ciągu dwóch kolejnych pobytów przez łącznie około trzy i pół roku miałem tam na miejscu okazję pracować, najpierw jako stypendysta a następnie jako wizytujący pracownik naukowy, w laboratorium prof. dr hab. Dariusza Stramskiego. Moja działalność w tym okresie koncentrowała się na badaniach właściwości optycznych zawiesin morskich prowadzonych zarówno na drodze modelowania teoretycznego z wykorzystaniem teorii rozpraszania Mie na cząstkach sferycznych, jak i na udziale oraz samodzielnym prowadzeniu eksperymentów w laboratorium wyposażonym w unikalny na skalę światową zestaw przyrządów optycznych oraz służących charakteryzacji różnych właściwości biogeochemicznych cząstek zawiesin. Do prac o charakterze modelowym z wykorzystaniem teorii rozpraszania Mie, oprócz pracy Woźniak i Stramski, 2004, która została omówiona już w poprzednim punkcie tego autoreferatu (jako pierwsza z prac zaproponowanego cyklu habilitacyjnego), zaliczyć należy też następującą pracę:

- Stramski i Woźniak, 2005 (*Limnology and Oceanography*)  
(dotychczasowa ilość cytowań: 25 wg bazy Web of Science, 26 wg bazy Scopus)

*W pracy tej oszacowano wartości współczynników rozpraszania oraz rozpraszania wstecz światła przez populacje cząstek koloidów w wodzie morskiej. Jako dane wejściowe do modelowania przyjęto istniejące w literaturze dane empiryczne o rozkładach rozmiarów cząstek koloidów w wodach morskich oraz o możliwych*

wartościach zespolonego współczynnika załamania światła przez materiał tworzący koloidy. Następnie przeprowadzono porównanie wyników otrzymanych dla 11 prób koloidów "małych" (o zakresie rozmiarów od 0.01 do 0.2  $\mu\text{m}$ ) oraz 10 prób koloidów "dużych" (0.4 - 1  $\mu\text{m}$ ) z wartościami współczynników rozpraszania i rozpraszania wstecz światła przez czystą wodę morską. Wyniki tego porównania zasugerowały co następuje: (1) rola koloidów może zmieniać się od praktycznie nieznaczącej do bardzo znaczącej w zależności od stężenia, rozkładu rozmiarów i wartości zespolonego współczynnika załamania światła; (2) podczas gdy wpływ "małych" koloidów na rozpraszanie światła w wodzie morskiej może być generalnie uznany za nieznaczący, to już w przypadku koloidów "dużych" ten wpływ może być pokaźny; rozpraszanie światła przez tę ostatnią frakcję koloidów może przewyższać rozpraszanie światła przez czystą wodę o ponad rząd wielkości; (3) "małe" koloidy wydają się natomiast odgrywać znaczącą rolę w całkowitym rozpraszaniu światła wstecz przez koloidy. Łączny wpływ "małych" i "dużych" koloidów na rozpraszanie wstecz światła w wodzie morskiej jest zwykle większy niż wpływ samej czystej wody dla większości obszaru widzialnego spektrum światła (w przypadku uśrednionych wyników przeprowadzonych obliczeń oszacowano, że odpowiednio wpływ ten był około 2.5 razy większy w przypadku długości fali światła 550 nm, i około 5.6 razy większy dla 700 nm). Wyniki otrzymane w pracy zasugerowały również, że udział koloidów w całkowitym rozpraszaniu światła przez cząstki zawiesin może być znaczący.

Moje zaangażowanie i aktywny udział w pomiarach laboratoryjnych właściwości optycznych zawiesin morskich prowadzonych w Scripps Institution of Oceanography, zaowocowały, oprócz pracy Woźniak i inni, 2010 (podanej już w punkcie 4 jako druga z publikacji wchodzących w skład cyklu habilitacyjnego), również następującymi publikacjami:

- Stramski, Woźniak i Flatau, 2004 (*Limnology and Oceanography*)  
(dotychczasowa ilość cytowań: 33 wg bazy Web of Science, 31 wg bazy Scopus)

*Jest to praca wykorzystująca wyniki laboratoryjnych pomiarów właściwości optycznych sztucznie przygotowanych zawiesin, których skład dominowany był cząstkami mineralnymi. Materiał użyty do przygotowania zawiesin pochodził z terenów pustynnych Azji będących potencjalnym źródłem dla długodystansowego transportu wiatrowego takich cząstek. W pracy stwierdzono m.in., że spektralne właściwości optyczne cząstek azjatyckiego pyłu mineralnego zawieszzonego w wodzie morskiej wykazują istotne zróżnicowanie ze względu na pochodzenie próby (a w związku z tym ze względu na skład chemiczny i mineralogiczny) oraz ze względu na rozkład rozmiarów cząstek w danej próbie. Pomiarzy dla próbek pyłu z różnych lokalizacji pokazały, że specyficzny masowy współczynnik załamania światła,  $a_p^*$ , dla długości fali światła  $\lambda = 440$  nm, zmienia się w zakresie od około 0.028  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  dla pyłu z gleby z chińskiej pustyni w pobliżu Dunhuang do 0.15  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  dla pyłu z gleby wulkanicznego pochodzenia z wyspy Cheju (Korea Południowa). Dla  $\lambda = 400$  nm, zakres ten wynosi odpowiednio 0.05-0.23  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ . Próbkę aerolu zebrane na Morzu Japońskim podczas silnych burz piaskowych we wschodniej Azji wykazały natomiast wartości  $a_p^*(\lambda) > 0.1 \text{m}^2 \text{g}^{-1}$  dla  $\lambda < 425$  nm. Dla wszystkich badanych próbek specyficzny masowy współczynnik rozpraszania światła,  $b_p^*(\lambda)$ , zmieniał się w zakresie od około 0.8 do 1.5  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$  dla "niebieskich" i "zielonych" długości fali światła. Stwierdzono również, że parametr reprezentujący prawdopodobieństwo przeżycia fotonu (tzw. ang. single scattering albedo)  $\omega_0$ , wzrasta z długością fali światła. Dla  $\lambda > 400$  nm,  $\omega_0$  jest  $> 0.78$  dla próby z wyspy Cheju oraz  $> 0.9$  dla pozostałych próbek. W obszarze bliskiej podczerwieni (750-*

850 nm), gdzie absorpcja przez cząstki mineralnego pyłu jest mała lub w ogóle niemierzalna,  $\omega_0$  jest bliskie 1.

- Stramski, Babin i Woźniak, 2007 (*Limnology and Oceanography*)  
(dotychczasowa ilość cytowań: 37 wg bazy Web of Science, 39 wg bazy Scopus)

*W pracy tej na podstawie pomiarów laboratoryjnych określono spektralne wartości tzw. specyficznego masowego współczynnika absorpcji światła  $a_p^*(\lambda)$ , oraz specyficznego masowego współczynnika rozpraszania światła  $b_p^*(\lambda)$ , przez sztucznie (laboratoryjnie) przygotowane zawiesiny z różnych prób materiału pochodzenia lądowego. Badane próby pochodziły głównie z powierzchniowych warstw gleby z różnych rejonów świata i zawierały małe cząstki (o rozmiarach  $< 10 \mu\text{m}$ ). Zmierzone wartości zarówno współczynnika  $a_p^*(\lambda)$  jak i  $b_p^*(\lambda)$  wykazały dużą zmienność związaną ze zmiennością rozkładu rozmiarów cząstek zawiesin jak i samym pochodzeniem prób. Zmienność wartości  $a_p^*(\lambda)$  wywoływana zmianami w rozkładzie rozmiarów pozostaje w zgodzie z tzw. "efektem upakowania", tzn. że dla prób o zwiększonym udziale małych cząstek obserwowano zwykle wyższe wartości  $a_p^*(\lambda)$ . Zmienność pomiędzy próbami była również związana z samym składem cząstek. Przykładowo współczynnik  $a_p^*(\lambda)$  dla niebieskich długości fal światła zmieniał się w zakresie od  $0.05 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dla dominowanych materiałem organicznym prób pyłu z gleby, do wartości  $0.1-0.5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$  dla prób wyraźnie dominowanych przez materiał mineralny. Efekt zróżnicowania składu prób miał swoje odzwierciedlenie w szerokim zakresie zmienności urojonej części zespolonego współczynnika załamania światła przez cząstki, który to współczynnik w zakresie niebieskim może przekraczać wartości  $0.2-0.3$  dla dominowanych minerałami prób bogatych w tlenki żelaza. Na zróżnicowanie wartości współczynnika rozpraszania światła złożony wpływ miały efekty związane ze zróżnicowaniem rozkładu rozmiarów cząstek zawiesin i ich składem. Generalnie wartości  $b_p^*(\lambda)$  zmieniały się w zakresie od  $0.5$  do  $1.5 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ , natomiast zachowanie spektralne zmieniało się od widm prawie płaskich po widma proporcjonalne do wyrażenia  $\lambda^{-n}$  ze współczynnikiem nachylenia  $\eta$  osiągającym wartość około  $1.3$  dla próby z najwyższym udziałem małych cząstek.*

Do osiągnięć uzyskanych na drodze pomiarów laboratoryjnych można też zaliczyć mój udział w powstanie pracy Stramska i inni, 2008 (*Journal of Geophysical Research*). W pracy tej przedstawiono wyniki pomiarów właściwości optycznych zawiesin przygotowanych z cząstek pochodzących z suchej depozycji atmosferycznej zebranych na wybrzeżu Pacyfiku w południowej części stanu Kalifornia.

Pomimo odbywania długiego stażu zagranicznego, nie przerywałem oczywiście moich związków ze współpracownikami z mojej macierzystej jednostki czyli Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie. W efekcie tej współpracy powstał w tamtym czasie cykl trzech publikacji z moim udziałem: B. Woźniak i inni, 2005a i b, oraz B. Woźniak i inni, 2006 (*Oceanologia*). Prace te dotyczyły właściwości absorpcyjnych różnych frakcji organicznych zawiesin morskich. W ramach tego cyklu zaproponowano między innymi wydzielenie 25 różnych grup morfologicznych cząstek organicznego detrytus, dla których to grup określono widmowe wartości urojonej części zespolonego współczynnika załamania światła (w zakresie 200-700 nm). Zaprezentowany w tych pracach zestaw wartości dla poszczególnych grup morfologicznych może być dalej wykorzystywany do szacowania tzw. całkowitych/efektywnych właściwości optycznych (ang. *bulk optical properties*) z wykorzystaniem teorii Mie lub podobnych.

Jeszcze w roku 2004, to jest w okresie pomiędzy pierwszym a drugim wyjazdem do Stanów Zjednoczonych, rozpocząłem w moim macierzystym Instytucie przygotowania zmierzające do rozpoczęcia własnych badań empirycznych właściwości optycznych



zawiesin morskich występujących w wodach Bałtyku. Prace te nabrały rozpędu w drugiej połowie roku 2006, kiedy definitywnie powróciłem do pracy w IO PAN w Sopocie. W tym okresie zetknąłem się z grupą młodych pracowników i doktorantów z mojego Instytutu, z którymi miałem okazję rozpocząć wspólną pracę oraz przekazywanie im części mojej wiedzy i umiejętności zdobytych za granicą. Wspólnymi siłami wydatnie zwiększyliśmy zakres działalności badawczej prowadzonej podczas cyklicznych rejsów prowadzonych w rejonie południowego Bałtyku, jak również zakres prac prowadzonych w lądowym laboratorium Zakładu Fizyki IO PAN. Dokonailiśmy tego poprzez wprowadzenie do praktyki m.in. szeregu nowych technik i procedur w pomiarach właściwości optycznych i biogeochemicznych zawiesin morskich. W kolejnych latach udało mi się też zdobyć własne środki na prowadzenie badań. W latach 2007-2010 byłem kierownikiem projektu finansowanego przez MNiSW zatytułowanego: "Badania rzeczywistych właściwości optycznych substancji zawieszonych w wodzie morskiej w rejonie południowego Bałtyku". Na bazie wyników zebranych podczas realizacji tego projektu w ramach prowadzonej przeze mnie i współpracowników intensywnej kampanii pomiarowej, powstała między innymi praca Woźniak i inni, 2011 (podana już w punkcie 4 tego autoreferatu, jako trzecia z prac cyklu habilitacyjnego).

W roku 2008 doszło też do publikacji prac podsumowujących prowadzony wcześniej w IO PAN w Sopocie projekt zamawiany Komitetu Badań Naukowych zatytułowany "Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku" (projekt o angielskim akronimie DESAMBEM). W projekcie tym miałem okazję uczestniczyć w ciągu kilku poprzednich lat jako jeden z wykonawców wykorzystując swoje doświadczenia i osiągnięcia z zakresu modelowania teoretycznego właściwości optycznych sfalowanej powierzchni morza. Na potrzeby tego projektu przygotowałem między innymi specjalną metodę obliczeniową służącą wyznaczaniu średnich dziennych współczynników transmisji i odbicia naturalnego oświetlenia PAR (ang. *photosynthetic active radiation*) przez powierzchnię morza dla celów teledetekcji stanów ekosystemu Bałtyku. W ramach podsumowania tego projektu powstał między innymi cykl dwóch wieloautorskich prac z moim udziałem:

- B. Woźniak i inni, 2008 (*Oceanologia*) oraz Darecki i inni, 2008 (*Oceanologia*)  
(dotychczasowe ilości cytowań: odpowiednio 11 i 10 wg bazy Web of Science, 13 i 12 wg bazy Scopus)

*Cykl prac poświęcony prezentacji zestawu algorytmów określonych akronimem DESAMBEM. Ten zestaw algorytmów stanowi syntezę serii opracowanych szczegółowych modeli matematycznych oraz znalezionych prawidłowości statystycznych opisujących przenoszenie promieniowania słonecznego w systemie atmosfera-morze, absorpcję tego promieniowania w wodzie morskiej i wykorzystanie zaabsorbowanej energii w różnych procesach zachodzących w wodzie, przede wszystkim w procesie fotosyntezy zachodzącym w komórkach morskiego fitoplanktonu. Ten obszerny algorytm/zestaw algorytmów pozwala na wyznaczanie szeregu abiotycznych właściwości środowiska morskiego oraz ocenę stanu i funkcjonowania ekosystemu Bałtyku na podstawie dostępnych danych satelitarnych. Może on być wykorzystany do wyznaczania takich wielkości jak: temperatura powierzchni morza, oświetlenie powierzchni morza, spektralne i przestrzenne rozkłady promieniowania słonecznego w toni wodnej, stężenia powierzchniowe oraz rozkłady pionowe chlorofilu a i innych pigmentów fitoplanktonu w morzu, ilość energii promienistej zaabsorbowanej przez fitoplankton, wydajność kwantowa procesu fotosyntezy czy też produkcja pierwotna materii organicznej w morzu. Na bazie tych bezpośrednio wyznaczanych wielkości mogą być również pośrednio wyznaczane inne charakterystyki procesów zachodzących*

w morzu. Pierwsza z prac poświęcona jest szczegółowej prezentacji algorytmu, część druga natomiast prezentacji przykładowych wyników zastosowania algorytmu oraz ich weryfikacji.

W okresie po powrocie ze staży zagranicznych podtrzymywałem swoje wcześniejsze oraz nawiązywałem też nowe kontakty z naukowcami z innych jednostek zajmujących się optyką wód morskich. W roku 2007 udało mi się zainicjować, przygotować i pełnić funkcję kierownika naukowego wyprawy na statku r/v Ocenia w rejonie Morza Północnego, Cieśnin Duńskich i południowego Bałtyku. W wyprawie tej uczestniczyli naukowcy ze Scripps Institution of Oceanography (Stany Zjednoczone), oraz z Institute for Coastal Research, GKSS Research Center (Niemcy). Między innymi dzięki badaniom prowadzonym podczas tej wspólnej wyprawy powstały później dwie publikacje: praca Reynolds i inni, 2010 (*Journal of Geophysical Research*) dotycząca problematyki pomiarów rozkładu rozmiarów zawieszin w różnych wodach przybrzeżnych, oraz praca Röttgers, McKee i Woźniak, 2013 (*Methods in Oceanography*) dotycząca oceny różnych metod korekcji pomiarów absorpcji światła w wodach przybrzeżnych prowadzonych z wykorzystaniem popularnego w zastosowaniach oceanograficznych miernika "ac-9" (Wetlabs Inc).

W ostatnich czasie jednym z głównych obszarów mojej działalności naukowej stała się synteza zebranych wcześniej obszernych wyników pomiarów połowych i ich zastosowanie jako danych wejściowych do modelowania prowadzonego z wykorzystaniem numerycznego modelu przenoszenia promieniowania słonecznego w środowisku morskim - model "Hydrolight" (Sequoia Sci.). Efekty między innymi takich właśnie działań zostały zaprezentowane w mojej najnowszej opublikowanej pracy - Woźniak, 2014 (*Oceanologia*) (którą to pracę zaproponowałem jako ostatnią, czwartą pracę mojego cyklu habilitacyjnego). Oprócz prowadzenia prac modelowych i dotyczących syntezy zebranych wcześniej danych, nadal też uczestniczę regularnie w badaniach połowych prowadzonych w rejonie południowego Bałtyku, zbierając nowy materiał empiryczny do wykorzystania w przyszłych projektach i publikacjach. Prace które aktualnie prowadzę związane są między innymi z realizacją w moim Instytucie tematyki tzw. badań statutowych. W moim przypadku jest to realizacja szeroko postawionego tematu zatytułowanego "Badanie i modelowanie procesów optycznych, transportu promieniowania słonecznego i wymiany energii promienistej w systemie morze - atmosfera (Temat I.1)". Od roku 2006 pełnię obowiązki kierownika tego Tematu oraz jednocześnie obowiązki kierownika Pracowni Optyki Morza i Atmosfery. Oprócz prowadzenia badań statutowych uczestniczę też w kolejnych projektach badawczych realizowanych w mojej instytucji. Aktualnie jestem zaangażowany jako jeden z wielu wykonawców w realizację dużego w swej skali projektu pod nazwą: "Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego (SatBałtyk)" realizowanego przez IO PAN w Sopocie wspólnie z Instytutem Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, Akademią Pomorską w Słupsku oraz Instytutem Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego.

## Podsumowanie

Podsumowując moje dotychczasowe osiągnięcia naukowe-badawcze w zakresie optyki morza zgodnie ze standardami bibliometrycznymi mogę stwierdzić, co następuje:

- do tej pory udało mi się być autorem lub współautorem 23 recenzowanych prac naukowych (w tym 19 wydanych po osiągnięciu stopnia naukowego doktora);
- publikacje te wg bazy Web of Science były do tej pory były cytowane ponad 250 razy (ponad 230 razy nie licząc autocytoowań) oraz ponad 310 razy według bazy Scopus (ponad 230 razy nie licząc autocytoowań wszystkich autorów);

- tzw. indeks Hirsch'a wyliczany na podstawie ilości cytowań publikacji wynosi według tych dwóch baz odpowiednio 8 lub 9.

W mojej ocenie są to wyniki powyżej średniej dla reprezentowanej przeze mnie dyscypliny i specjalności w naszym kraju.

Oprócz autorstwa publikacji recenzowanych mam na swoim koncie również udział w 23 prezentacjach na konferencjach naukowych, z czego w 9 przypadkach były to wygłoszone przeze mnie osobiście referaty. W przypadku 11 prezentacji zostały one też dodatkowo opublikowane w całości w materiałach konferencyjnych z czego w 6 przypadkach jestem pierwszym lub samodzielnym autorem takich materiałów. Do tej pory kierowałem też jednym własnym projektem badawczym, uczestniczyłem w realizacji 4 innych projektów, oraz realizowałem wiele corocznych zadań stawianych w ramach programu badań statutowych w moim macierzystym Instytucie. Postępy moich prac dokumentowałem też między innymi w ponad 40 specjalnie przygotowanych raportach i opracowaniach naukowych (na prawach manuskryptów) przechowywanych w zbiorach bibliotecznych Zakładu Fizyki Morza IO PAN w Sopocie.

W miarę możliwości starałem się do tej pory uczestniczyć też w życiu środowiska naukowego. Oprócz przytaczanych już wcześniej faktów utrzymywania współpracy z koleżankami i kolegami z różnych instytucji krajowych i zagranicznych, mogę też do tej pory wykazać się również między innymi: recenzowaniem manuskryptów dla renomowanych czasopism naukowych (*Applied Optics*, *Limnology and Oceanography*, *Journal of Geophysical Research* czy *Oceanologia*), pełnieniem roli współorganizatora sesji naukowej ("Osiągnięcia i perspektywy optyki morza", Sopot 2008), czy też zasiadaniem jako przedstawiciel młodych pracowników nauki w Radzie Naukowej mojego macierzystego Instytutu. Dodatkowo, mimo że instytucja w której pracuję nie prowadzi regularnej dydaktyki na skalę taką jak ma to miejsce na uczelniach akademickich, miałem już wielokrotnie okazję włączać się w procesy dydaktyczne prowadzone na uczelniach Trójmiasta i regionu. Prowadziłem między innymi regularne zajęcia dla studentów Wyższej Szkoły Morskiej w Gdyni (obecnie Akademia Morska) oraz wielokrotnie pełniłem funkcję opiekuna praktyk prowadzonych dla studentów różnych uczelni naszego regionu (Politechnika Gdańska, Uniwersytet Gdański, Akademia Pomorska w Słupsku) Miałem też okazję przygotowywać wykłady dla słuchaczy Studium Doktoranckiego mojego Instytutu, oraz niektórym z doktorantów oferować niesformalizowaną pomoc w przygotowaniu ich rozpraw doktorskich.

Swoją działalność naukową w zakresie oceanologii chciałbym oczywiście kontynuować łącząc wysiłki w organizowaniu przyszłych badań i publikowaniu ich wyników, z osobistym wkładem w dydaktykę i popularyzację uprawianej przeze mnie dyscypliny.

Stawomir B. Wodunick