

Dr hab. Tadeusz Król

## **Recenzja rozprawy habilitacyjnej dr Mirosława Dareckiego**

*pt.*

### ***Opracowanie teoretycznych i praktycznych podstaw optycznej, satelitarnej teledetekcji Morza Bałtyckiego i ich weryfikacja***

Recenzję opracowano na zlecenie Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie w oparciu o dostarczoną dokumentację zawierającą m. in.:

- Autoreferat habilitanta,
- Wykaz opublikowanych prac naukowych oraz informację o osiągnięciach dydaktycznych, współpracy naukowej i popularyzacji nauki.
- Odbitki prac stanowiących osiągnięcie naukowe
- Oświadczenia współautorów publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe.

#### **Część I: Ocena osiągnięcia naukowego.**

Według habilitanta jego osiągnięciem naukowym jest: **Opracowanie teoretycznych i praktycznych podstaw optycznej, satelitarnej teledetekcji Morza Bałtyckiego i ich weryfikacja**

Osiągnięcie naukowe habilitanta związane z badaniem metodami teledetekcji satelitarnej środowiska morskiego ma udokumentować 6 publikacji wydanych w latach 2003 - 2005:

1. **Darecki M.**, Weeks A., Sagan S., Kowalczyk P., Kaczmarek S, 2003, *Optical characteristics of two contrasting Case 2 waters and their influence on remote sensing algorithms*. Continental Shelf Research, 23, 3-4, 237-250
2. **Darecki M.**, Kaczmarek S., Olszewski J., 2005, *SeaWiFS chlorophyll algorithms for the Southern Baltic*. International Journal of Remote Sensing, Vol.26, No.2, 247-260.
3. Kowalczyk P., Olszewski J., **Darecki M.**, Kaczmarek S. , 2005, *Empirical relationships between coloured dissolved organic matter (CDOM) absorption and apparent optical properties in Baltic Sea waters*. International Journal of Remote Sensing, Vol.26, No.2, 345-370.
4. **Darecki M.**, Stramski D., 2004. *An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea*, Remote Sensing of Environment. Vol 89/3 , 326-350.

5. Woźniak B., Krężel A., **Darecki M.**, Woźniak S.B., Majchrowski R., Ostrowska M., Kozłowski Ł., Ficek D., Olszewski J., Dera J., 2008. *Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 1: Mathematical apparatus.* Oceanologia 2008, no 50(4), 451-508,
6. **Darecki, M.**, Ficek D., Krężel A., Ostrowska M., Majchrowski R., Woźniak S.B., Bradtke K., Dera J., Woźniak B., 2008. *Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 2: Empirical validation.* Oceanologia 2008, no 50(4), 509-538, .

Sformułowane przez habilitanta osiągnięcie naukowe związane jest z rozpoznawaniem właściwości wód środowiska morskiego i procesów w nich zachodzących poprzez określenie właściwości optycznych tych wód na podstawie obserwacji i pomiarów z pokładu satelity, oraz doświadczenia naukowego zakodowanego w modele matematyczne opisujące to środowisko.

Tylko badania satelitarne umożliwiają pozyskiwanie informacji o rozległych akwenach morskich w krótkim czasie, praktycznie w tym samym momencie. Są one dzisiaj podstawowym źródłem aktualnych informacji o środowisku morskim. Rozkodowanie sygnałów zarejestrowanych przez satelitę wymaga jednak rzetelnej wiedzy oceanologicznej, praktycznie całego dorobku naukowego fizyki, chemii i biologii morza, oraz rozpoznania zależności między właściwościami wód morskich i właściwościami promieniowania (widzialnego i podczerwonego) docierającego do mierników na pokładzie satelity. Zależności te mają niestety charakter lokalny i wymagają opracowań i badań indywidualnych dla każdego akwenu morskiego. Dla interesującego nas Morza Bałtyckiego badania takie prowadzone są między innymi w Instytucie Oceanologii PAN, gdzie koordynowane są przez Pracownię Teledetekcji Morza, której długoletnim pracownikiem, a aktualnie kierownikiem jest habilitant. Jego aktywność naukowa od 27 lat związana jest z eksperymentalnymi i teoretycznymi badaniami widm promieniowania wychodzącego z morza. Jest współkonstruktorem oryginalnych przyrządów pomiarowych, organizatorem ekspedycji morskich w trakcie których zgromadził bogatą bazę danych o widmach promieniowania wychodzącego z toni morskiej, która służy weryfikacji modeli teoretycznych opisujących formowanie tego promieniowania. Interpretacja widm tego promieniowania z pokładu satelity wymaga dodatkowo uwzględnienia jego modyfikacji przez atmosferę przez którą przenika, co także wymaga opracowania modelu tzw korekcji atmosferycznej. Opracowanie tych modeli i ich weryfikacja są przedmiotem analizowanej rozprawy habilitacyjnej.

W pierwszej pracy prezentowanego cyklu (*Optical characteristics of two contrasting Case 2 waters and their influence on remote sensing algorithms*), przeanalizowano właściwości optyczne wybranych dwóch ekosystemów morskich: Bałtyku Południowego i Oceanu Atlantyckiego u zachodnich wybrzeży Irlandii. Przeprowadzone badania wykazały między innymi, że właściwości optyczne wód Bałtyku Południowego determinowane są przez absorpcję rozpuszczonych związków organicznych, w znacznie większym stopniu niż w wodach Szelfu Irlandzkiego. Dlatego teledetekcja satelitarna w tych akwenach wymaga opracowania algorytmów dedykowanych dla każdego akwenu indywidualnie, gdyż zastosowanie algorytmu opracowanego dla wód oceanicznych, powoduje duże błędy w ocenie wyznaczanych parametrów. W pracy zaproponowano różne algorytmy dla analizowanych akwenów. Zwrócono też uwagę na konieczność wykorzystywania w algorytmach zróżnicowanych przedziałów widmowych, dostosowanych do specyfiki badanych akwenów. Stwierdzono także sezonową zależność współczynników liczbowych w proponowanych algorytmach. Zaproponowane zostały kanały spektralne których wykorzystanie w poszczególnych akwenach, może zapewnić poprawę dokładności algorytmów wyznaczających np. zdalnie stężenie chlorofilu *a* w przypowierzchniowej warstwie wody i to niezależnie do sezonu troficznego danego akwenu. Praca wyraźnie wykazuje dużą różnorodność właściwości akwenów, co musi znaleźć odzwierciedlenie w interpretacji ich obrazów satelitarnych.

W drugiej pracy (*SeaWiFS chlorophyll algorithms for the Southern Baltic*) przeprowadzono krytyczną analizę i ocenę dokładności zależności wiążących strumienie radiacji oddolnej z przypowierzchniowym stężeniem chlorofilu *a*. Analizy te przeprowadzono na podstawie materiału eksperymentalnego zebranego na obszarze Bałtyku Południowego głównie z wieloletnich i wielosezonowych serii synchronicznych pomiarów refleksyjności bezkontaktowej mierzonej tuż nad powierzchnią wody i stężenia chlorofilu *a* w przypowierzchniowej warstwie wody. Skaner SeaWiFS był praktycznie pierwszym instrumentem satelitarnym pracującym w zakresie widzialnym. W omawianej w pracy stwierdzono duże rozbieżności pomiędzy wartościami stężenia chlorofilu *a* zmierzonymi *in situ* w wodach Bałtyku Południowego i określonymi zdalnie za pomocą algorytmów proponowanych dla skanera SeaWiFS. Co wynika z dużej zawartości w wodzie mieszaniny rozpuszczonych związków organicznych.

Dlatego opracowano lokalne wersje algorytmów uwzględniających zwiększoną absorpcji światła przez rozpuszczoną materię organiczną poprzez wykorzystanie obszarów widma, w których ta absorpcja jest mała. Wykazano też, że w celu dalszego zwiększenia dokładności wyznaczania stężenia chlorofilu *a* metodami zdalnymi na obszarze Bałtyku Południowego należy w algorytmach wykorzystywać inne kanały spektralne, niż stosowane wówczas w większości skanerów satelitarnych.. W podsumowaniu pracy postulowano wyposażenie kolejnych detektorów, przeznaczonych do badań morza w zmodyfikowany zestaw kanałów spektralnych.

W trzecim artykule (*Empirical relationships between coloured dissolved organic matter (CDOM), absorption and apparent optical properties in Baltic Sea waters*) przedstawione zostały algorytmy pozwalające na wyznaczenie wielu parametrów określającym stan środowiska, w tym przede wszystkim współczynników absorpcji rozpuszczonej materii organicznej i określenie jej ilość w wodzie morskiej. Jest ona jednym z głównych czynników odróżniających wody Bałtyku od wód w innych podobnych akwenach. Jej określenie jest bardzo istotne gdyż absorpcja ta ma wpływ na teledetekcję chlorofilu *a*. Rozpuszczona materia organiczna wpływa na procesy wymiany gazów (głównie CO, CO<sub>2</sub> i COS) na granicy powietrze-woda. Może też ona służyć jako wyznacznik wnoszenia materii organicznej rzekami do morza . Zaproponowana tu także dalszą modyfikację zestawu kanałów spektralnych dla skanerów badających akweny morskie z pokładu satelitów.

Czwarta publikacja (*An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea*), powstała częściowo na zamówienie NASA (grant walidacyjny D. Stramskiego z Scripps Institute of Oceanography, University of California). Nowe satelity NASA wyposażone w nowe skanery MODIS charakteryzowały się ulepszonymi parametrami, a proponowane przez NASA algorytmy wyznaczania biooptycznych parametrów wody morskie wymagały weryfikacji. Taka weryfikacja, a w dalszej kolejności analiza rezultatów, istotnie przyczynia się do rozszerzenia wiedzy o optycznych właściwościach także dla wód Bałtyku.

W pracy wykorzystana została baza danych biooptycznych zebranych w wodach Bałtyku Południowego z okresu prawie 10 lat. Materiał ten charakteryzował się dużym zróżnicowaniem co pozwala założyć, że określa on wybrany akwen w stopniu wystarczającym i uwzględnia cały zakres zmienności mierzonych parametrów biofizycznych.

Dane te posłużyły do weryfikacji standardowych algorytmów umożliwiających zdalne wyznaczanie podstawowych parametrów biooptycznych wód Bałtyku. Ocenie poddane zostały powszechnie stosowane algorytmy opracowane na dla skanera MODIS. Weryfikacji

poddano nie tylko algorytmy przeznaczone do zdalnego wyznaczania stężenia chlorofilu *a* ale także algorytmy do zdalnego określania współczynnika absorpcji rozpuszczonej materii organicznej, czy współczynnika dyfuzyjnego osłabiania oświetlenia odgórnego. W celu pełnej identyfikacji problemów związanych z teledetekcją dla wód Bałtyku, ocenie poddano wartości parametrów bioptycznych wyznaczonych na podstawie reflektancji zmierzonej *in situ*, z pomiarami *in situ* tych parametrów i reflektancji wyliczonej na podstawie danych satelitarnych. To ostatnie pozwoliło na walidację już "końcowego" produktu satelitarnego na podstawie danych *in situ*. W pracy, po dyskusji przyczyn dużych wielkości błędów estymacji, zaproponowano nowe, dostosowane do specyficznych warunków wód Bałtyku Południowego wersje odpowiednich algorytmów. Te regionalne algorytmy, obok niskiego błędu systematycznego charakteryzują się także mniejszym błędem statystycznym.

W omawianej pracy przeprowadzono również weryfikację efektywności standardowych procedur korekcji atmosferycznej, poprzez bezpośrednie porównanie zmierzonej *in situ* radiacji wychodzącej z toni wodnej z odpowiadającą jej radiacją wyznaczoną za pomocą radiometru satelitarnego. Analiza rozbieżności pomiędzy radiacją oddolną zmierzona *in situ* i określoną z poziomu satelity, oraz analiza wyznaczonych w procesie korekcji atmosferycznej parametrów atmosfery, takich jak grubość optyczna czy typ aerozolu, wykazały, że w procesie korekcji atmosferycznej należy również zrewidować wykorzystywane modele aerozoli atmosfery nadmorskiej.

Ostatnie dwa artykuły prezentowanego cyklu (*Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 1: Mathematical apparatus i Algorithms for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM). Part 2: Empirical validation*) przedstawiają wyniki prac szerokiego grona naukowców z trzech jednostek naukowych współpracujących w ramach projektu badawczego DESAMBEM. Współpraca ta zaowocowała opracowaniem szeregu szczegółowych modeli matematycznych i zależności statystycznych opisujących transport promieniowania słonecznego w systemie atmosfera-morze, absorpcję tego promieniowania w toni wodnej i jego wykorzystanie na różne procesy, w tym szczególnie na fotosyntezę w komórkach fitoplanktonu. Modele te złożyły się na kompleksowy algorytm DESAMBEM, który określa szereg właściwości środowiska oraz stan i funkcjonowanie ekosystemu Bałtyku na podstawie dostępnych danych satelitarnych. Za pomocą tego algorytmu można wyznaczyć m.in.: temperaturę powierzchniową morza, prądy powierzchniowe i prądy wznoszące - *upwelling*'i, zasięg wód rzecznych, przezroczystość wód, oświetlenie użyteczne dla fotosyntezy, stężenia chlorofilu i innych pigmentów w wodzie, wydajność fotosyntezy i produkcję pierwotną materii organicznej. Charakterystyki te

wyznaczane są za pomocą algorytmów opracowanych między innymi na podstawie zależności będących przedmiotem przeprowadzonych przez habilitanta szczegółowych analiz przedstawionych w prezentowanych wyżej pracach.

Złożony algorytm DESAMBEM rozszerza zakres teledetekcji satelitarnej Bałtyku o szereg dotychczas nie wyznaczanych parametrów, które niosą informacje o wielu fizycznych, chemicznych i biologicznych właściwościach wód morskich oraz o procesach w nich zachodzących. Diagnoza funkcjonowania ekosystemu Bałtyku za pomocą algorytmu DESAMBEM nie ogranicza się do powierzchniowej warstwy morza jak to ma zazwyczaj miejsce w zdalnych obserwacjach morza. Opracowane wcześniej pół-empiryczne modele uzyskane na podstawie analizy danych z wieloletnich serii pomiarowych w Bałtyku umożliwiają również wyznaczanie wielu charakterystyk w całej strefie eufotycznej lub na wybranych głębokościach. Taki, szeroki zakres informacji, pozwala na wiarygodne diagnozowanie stanów i prognozowanie zmienności środowiska Bałtyku. Opracowane i przedstawione w pracy 5 algorytmy umożliwiają tworzenie map przestrzennych rozkładów wybranych parametrów środowiska Bałtyku. Skonstruowanie takich map możliwe było między innymi dzięki opracowaniu metod i procedur integrujących dane z różnych satelitów i modeli oraz algorytmów.

Weryfikacja uzyskanych wyników zaprezentowana w pracy 6 jest możliwa dzięki zgromadzonej bogatej bazie danych oceanograficznych uzyskanych z pomiarów w rejsach zarówno wcześniejszych, jak i odbywanych w synchronizacji z pomiarami satelitarnymi. W opisanych badaniach podjęto też próbę rozwiązania problemu wypełniania na mapach miejsc, dla których niemożliwe jest wyznaczenie danego parametru za pomocą obserwacji satelitarnych, na przykład z powodu zachmurzenia. Zaproponowane metody takiego uzupełniania wartości określanych parametrów w takich obszarach, oparte były na statystycznych interpolacjach wykorzystujących informacje zawarte w danych satelitarnych dla danego akwenu uzyskanych w innych przedziałach czasowych

Przedstawiony cykl artykułów dokumentuje pracowitą drogę dotarcia do kompleksowej wiedzy na temat relacji i zależności między właściwościami wód w akwenach morskich i obrazem tych akwenów rejestrowanych z pokładu satelity. Powstanie algorytmu DESAMBEM możliwe było tylko dzięki szerokim badaniom środowiska Morza Bałtyckiego, bogatej bazie danych z pomiarów wykonanych w czasie rejsów, bogatej wiedzy i doświadczeniu zespołu który go stworzył. Udział habilitanta w jego powstaniu i weryfikacji jest znaczący, a w wielu fragmentach wiodący, co moim zdaniem jest istotnym osiągnięciem naukowym, a przedstawiony zestaw publikacji to dokumentuje.

## **Część II: Ocena aktywności naukowej.**

Habilitant szczyli się 44 recenzowanymi publikacjami naukowymi z których 36 to artykuły z tzw. "listy filadelfijskiej" oraz autorem lub współautorem ponad 19 artykułów opublikowanych w materiałach konferencyjnych, 32 opracowań niepublikowanych i 3 opracowań popularno naukowych. Był wykonawcą w 32 projektach naukowych, a w 5. był ich kierownikiem, natomiast w 6 koordynatorem. Wygłosił 19 referatów na konferencjach międzynarodowych, w tym 2 zamawiane, oraz 4 referaty na konferencjach krajowych. Ma też na swoim koncie współautorstwo w 52 prezentacjach posterowych.

Był współorganizatorem 10 konferencji międzynarodowych oraz 3 krajowych.

Habilitant ma też wkład w kształcenie młodej kadry naukowej. Prowadził wykłady dla słuchaczy Studium Doktoranckiego, studentów oraz słuchaczy szkoły międzynarodowej. Współpracuje także z doktorantami i opiekuje się praktykantami.

Habilitant ma także bogate kontakty międzynarodowe. Uczestniczy w wielu komitetach naukowych, jest członkiem kilku organizacji i komitetów naukowych, oraz recenzentem czasopism oraz projektów badawczych.

Zainteresowania naukowe habilitanta są znacznie szersze niż ujęte w analizowanym osiągnięciu naukowym, co dokumentuje bogaty wykaz publikacji naukowych. Habilitant zorganizował zaplecze aparaturowe dla badań laboratoryjnych i terenowych środowiska morskiego, jest konstruktorem pionierskich przyrządów pomiarowych co świadczy o jego talencie eksperymentatorskim.

Przez wiele lat habilitant był kierownikiem Pracowni a obecnie jest kierownikiem Zakładu Fizyki Morza. Był organizatorem ekspedycji naukowych i uczestnikiem w międzynarodowych rejsach badawczych.

Aktualnie habilitant jest aktywnym realizatorem i koordynatorem w realizowanym przez duże konsorcjum projekcie przygotowującym i wdrażającym satelitarny system kontroli środowiska morskiego Bałtyku SatBałtyk. Jego udział merytoryczny i organizacyjny w realizacji tego projektu jest znaczący. Opracowany z znaczącym jego udziałem algorytm DESAMBEM będący istotnym elementem tego projektu umożliwia wraz z innymi algorytmami uzyskanie bogatej wiedzy o środowisku Bałtyku, co wkrótce stanie się zapewne praktyką umożliwiającą na bieżąco śledzenie stanu tego środowiska.

### Część III: Podsumowanie

Podsumowując uważam, iż problem naukowy opracowany przez habilitanta jest istotnym, ważnym osiągnięciem naukowym. Jest ono szczególnie cenne dla badań procesów zachodzących w najbardziej interesującym środowisku polskich oceanologów rejonie Morza Bałtyckiego.

Jak wynika z wykazu osiągnięć naukowych zainteresowania naukowe habilitanta są dużo szersze niż problematyka stanowiąca przedmiot habilitacji.

Działalność naukowa habilitanta zaowocowała imponującym dorobkiem publikacyjnym i osiągnięciem bardzo dobrych wskaźników to dokumentujących. Spora ilość publikacji w szerokim współautorstwie świadczy o współpracy z własnym i innymi środowiskami naukowymi w tym z ważnymi ośrodkami zagranicznymi. Pozytywnie należy ocenić działalność organizacyjną habilitanta. Uczestniczy on także w realizacji licznych projektów naukowych krajowych i międzynarodowych, oraz aktywnie uczestniczy w konferencjach naukowych. Ma też istotny dorobek dydaktyczny

Podsumowując powyższe proponuję Komisji Habilitacyjnej powołanej dla przeprowadzenia tego procesu habilitacyjnego wnioskowanie do Rady Naukowej Instytutu Oceanologii PAN o nadanie doktorowi Mirosławowi Dareckiemu tytułu doktora habilitowanego w zakresie oceanologii

