

## Autoreferat

1. Imię i nazwisko: **Tomasz Zapadka**
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/ artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

Magister Fizyki, Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Słupsku, 1997

Doktor Nauk o Ziemi w zakresie Oceanologii, przyznany w roku 2006 przez Radę Naukową Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, tytuł rozprawy: *Modelowanie efektywnego promieniowania podczerwonego Bałtyku z wykorzystaniem radiometrycznych danych satelitarnych i standardowych danych hydrometeorologicznych*

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

1996 - 1997 – technik w Instytucie Fizyki Wyższej Szkoły Pedagogicznej w Słupsku

1997 – 2007 – asystent w Instytucie Fizyki Pomorskiej Akademii Pedagogicznej

2007 – 2019 – adiunkt w Instytucie Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku

2019 – 2023 – adiunkt w Instytucie Biologii i Nauk o Ziemi APSL

Od 1 września 2023 - adiunkt w Instytucie Geografii Uniwersytetu Pomorskiego w Słupsku

4. Omówienie osiągnięć, o których mowa w art. 219 ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2021 r. poz. 478 z późn. zm.). Omówienie to winno dotyczyć merytorycznego ujęcia przedmiotowych osiągnięć, jak i w sposób precyzyjny określać indywidualny wkład w ich powstanie, w przypadku, gdy dane osiągnięcie jest dziełem współautorskim, z uwzględnieniem możliwości wskazywania dorobku z okresu całej kariery zawodowej.

a) tytuł osiągnięcia naukowego

### **Opracowanie i zastosowanie modelu do bieżącej kontroli bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego na podstawie obserwacji satelitarnych**

b) cykl prac dokumentujących osiągnięcie (autorzy, tytuł publikacji, rok wydania, wydawnictwo):

- [1]. **Zapadka T.**, Woźniak B., Dera J., *A more accurate formula for calculating the net longwave radiation flux in the Baltic Sea*, 2007, *Oceanologia*, 49(4), pp. 449-470.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- opracowanie koncepcji badań
- przegląd i wybór literatury
- zebranie materiału empirycznego w czasie rejsów r/v Oceania
- przygotowanie bazy danych
- opracowanie zależności empirycznych, interpretacja wyników, analizy statystyczne
- weryfikacja i walidacja algorytmów
- przygotowanie rycin i tabel
- napisanie tekstu manuskryptu
- koordynacja pracy nad manuskrytem

[2]. **Zapadka T.**, Krężel A., Woźniak B., Longwave radiation budget at the Baltic Sea surface from satellite and atmospheric model data, 2008, *Oceanologia*, 50(2), pp. 147-166.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- opracowanie koncepcji badań
- przegląd i wybór literatury
- wybór materiału oraz opracowanie metody umożliwiającej wykorzystanie danych pochodzenia satelitarnego
- opracowanie i przygotowanie map efektywnego strumienia promieniowania (różnica między odgórnym i oddolnym promieniowaniem długofalowym)
- analizy statystyczne i porównawcze
- prezentacja wyników i ich interpretacja, przygotowanie rycin i tabel
- napisanie tekstu manuskryptu oraz jego edycja
- konsultacje ze współautorami

[3]. Woźniak B., Bradtke K., Darecki M., Dera J., Dudzińska-Nowak J., Dzierzbicka-Głowacka L., Ficek D., Furmańczyk K., Kowalewski M., Krężel A., Majchrowski R., Ostrowska M., Paszkuta M., Stoń-Egiert J., Stramska M., **Zapadka T.**, *SatBałtyk - A Baltic environmental satellite remote sensing system - an ongoing project in Poland. Part 2: Practical applicability and preliminary results*, 2011, *Oceanologia*, no. 53(4), pp. 925-958, <http://dx.doi.org/10.5697/oc.53-4.925>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- autor podrozdziału dotyczącego bilansu promieniowania na powierzchni morza

- opracowanie map chwilowych składowych bilansu promieniowania
- przeprowadzenie statystycznych analiz porównawczych dotyczących wypadkowych strumieni krótko i długofalowych
- konsultacje ze współautorami
- udział w przygotowaniu i redakcji manuskryptu

[4]. **Zapadka T.**, Krężel A., Paszkuta M., Darecki D., *Daily radiation budget of the Baltic Sea surface from satellite data*, 2015, Polish Maritime Research, No. 3(87), vol. 22, 50-56, DOI: 10.1515/pomr-2015-0056.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- opracowanie koncepcji badań
- przegląd i dobór literatury
- przygotowanie i wybór materiału do przeprowadzonego modelowania oraz do analiz porównawczych
- opracowanie metody do wyznaczania pojedynczych strumieni promieniowania
- przeprowadzenie analiz statystycznych
- przeprowadzenie obliczeń, prezentacja wyników i ich interpretacja
- napisanie tekstu manuskryptu
- przygotowanie rycin i tabel
- konsultacje ze współautorami

[5]. Paszkuta M., **Zapadka T.**, Krężel A., Assessment of cloudiness for use in environmental Marine research, 2019, International Journal of Remote Sensing, vol. 40, 24, pp. 9439-9459, <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1633697>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- badania dotyczące opracowania wielkości charakteryzującej stan zachmurzenia nieba
- udział w przeglądzie oraz doborze literatury
- merytoryczne konsultacje dotyczące rozwiązań fizycznych
- pomoc w przygotowaniu tekstu manuskryptu oraz jego redakcji

[6]. **Zapadka T.**, Ostrowska M., Stoltmann D., Krężel A., *A satellite system for monitoring the radiation budget at the Baltic Sea*, 2020, Remote Sensing of Environment, 240, 11683, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111683>.

Mój wkład w powstawanie tej pracy obejmował:

- opracowanie koncepcji badań prezentowanych w pracy
- przegląd i wybór literatury
- zebranie materiału empirycznego w czasie rejsów r/v Oceania 2011 – 2014 oraz jego przetworzenie
- zebranie i przetworzenie danych z Platformy PetroBaltic oraz stacji lądowych
- przygotowanie bazy danych
- opracowanie metodyki umożliwiającej tworzenie map bilansu promieniowania
- opracowanie zależności funkcyjnych oraz algorytmów
- dobór, pozyskanie oraz przetworzenie danych zewnętrznych do analiz porównawczych
- interpretacja wyników, analizy statystyczne
- przygotowanie rycin i tabel
- napisanie tekstu manuskryptu i jego edycja
- konsultacje ze współautorami

Współczynnik Impact Factor (IF) czasopism, liczba punktów MEiN i liczba cytowań publikacji stanowiących osiągnięcie habilitacyjne.

Numer publikacji	Czasopismo	Roku publikacji	IF/IF 2022*	Liczba punktów MEiN**	Liczba cytowań***
1	Oceanologia	2007	0.873/2.48	100	11
2	Oceanologia	2008	1.438/2.48	100	7
3	Oceanologia	2011	1.523/2.48	100	28
4	Polish Maritime Research	2015	0.935/1.936	100	7
5	International Journal of Remote Sensing	2019	3.317/3.581	70	5
6	Remote Sensing of Environmental	2020	10.693/13.631	200	6

\*IF w roku publikacji/IF 2 -letni za lata 2021 – 2022

\*\* według załącznika do komunikatu Ministra Edukacji i Nauki z dnia 17 lipca 2023r.

\*\*\* według Web of Science z dnia 06.09.2023

c) prezentacja osiągnięcia

## **Założenia i cele**

Wymiana strumieni energii między atmosferą a powierzchnią Ziemi to jeden z podstawowych procesów kształtujących klimat naszej planety (Trenberth i in. 2009). Promieniowanie elektromagnetyczne odgrywa szczególną rolę w tym procesie, gdyż z jednej strony zasila ekosystem ziemski energią pochodzenia słonecznego, a z drugiej pośredniczy w pozbywaniu się nadmiaru energii poprzez emisję promieniowania termicznego. Zachowanie równowagi między tymi procesami gwarantuje utrzymanie stabilnej sytuacji klimatycznej w skali globalnej. Niestety w ostatnich latach coraz częściej obserwuje się występujące anomalie pogodowe, niespotykane dotąd zjawiska atmosferyczne oraz inne osobliwości, które potwierdzają zmiany zachodzące w klimacie. Środowisko Morza Bałtyckiego jest bardzo podatne na wszelkie zmiany globalne zwłaszcza te wywołane działalnością człowieka (Rutgersson i in. 2022). Dlatego bardzo istotnym jest ciągły dopływ informacji na temat stanu Bałtyku oraz analiza parametrów opisujących środowisko tego morza, w celu lepszego zrozumienia zachodzących w nim zmian i ewentualnego im zapobiegania (Omstedt i in. 2014). Szereg publikacji oraz raportów z ostatnich lat wskazuje na niepokojące trendy dotyczące temperatury powietrza, temperatury wody, zachmurzenia, oświetlenia odgórnego, opadu atmosferycznego czy obecności pokrywy lodowej (Rutgersson i in. 2014, Stramska i in. 2015, Pfeifroth i in. 2017, Kniebusch i in. 2019, Tomczyk i in. 2021, Wild i in. 2021, Meier i in. 2022). Wszystkie te wielkości mają bezpośredni wpływ na wartości bilansu promieniowania tego morza. Zatem bieżące i precyzyjne monitorowanie promieniowania krótko i długofalowego docierającego i opuszczającego powierzchnię morza jest niezbędne do prawidłowej ilościowej i jakościowej oceny zachodzących zmian klimatycznych oraz mechanizmów z tym związanych. Ze względu na specyfikę Bałtyku pod względem lokalizacji, zakresu zmienności parametrów hydrometeorologicznych oraz produktywności wymaga to rozwiązań często dedykowanych tylko dla tego akwenu.

Przedstawione poniżej osiągnięcie **pt. Opracowanie i zastosowanie modelu do bieżącej kontroli bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego na podstawie obserwacji satelitarnych** obejmuje stworzenie operacyjnego algorytmu, który umożliwi bieżący monitoring i ocenę stosunków energetycznych w zakresie promieniowania w rejonie Bałtyku. Bilans promieniowania na powierzchni morza jest różnicą między odgórnymi strumieniami promieniowania krótko (300 nm – 4000 nm) i długofalowego (4000 nm – 100000 nm) dochodzącymi do powierzchni morza oraz oddolnymi strumieniami krótko i długofalowymi

propagującymi w kierunku atmosfery. Promieniowanie krótkofalowe przy powierzchni morza jest pochodzenia słonecznego natomiast długofalowe to promieniowanie termiczne pochodzenia ziemskiego. W obu przypadkach mamy do czynienia z falami elektromagnetycznymi, jednak ze względu na zakres ich długości oraz pochodzenie określenie poszczególnych składowych bilansu promieniowania wymaga różnych metodologii. W przypadku promieniowania krótkofalowego ilość energii docierającej do powierzchni morza determinowana jest czynnikami geograficznymi, astronomicznymi oraz transmisją atmosfery, która głównie uzależniona jest od obecności chmur, ich rodzaju, zawartości pary wodnej w atmosferze, ozonu oraz aerozoli. Strumień promieniowania długofalowego docierający do powierzchni morza zależy głównie od emisyjnych właściwości atmosfery związanych z pionowym rozkładem temperatury powietrza oraz pary wodnej w atmosferze, obecności innych gazów cieplarnianych takich jak dwutlenek węgla, metan czy ozon. Największą rolę jednak w emisji oraz reemisji tego promieniowania, podobnie jak w przypadku odgórnego promieniowania krótkofalowego odgrywają chmury. Oddolne promieniowanie krótkofalowe natomiast jest sumą promieniowania słonecznego rozproszonego w toni wodnej oraz odbitego od jej powierzchni w kierunku atmosfery. Oddolny strumień promieniowania długofalowego to fala elektromagnetyczna emitowana przez powierzchnię morza oraz odbita wstecz część odgórnego strumienia długofalowego.

Bilans promieniowania można wyznaczać w oparciu o bezpośrednie dane pomiarowe, numeryczne dane z modeli prognostycznych lub obserwacje satelitarne.

Pomiary bezpośrednie często mają charakter ciągły. Prowadzone są jednak w pojedynczych punktach głównie na lądzie, na stacjach aktynometrycznych. Nieliczne wykonywane są na wyspach zlokalizowanych w obrębie Morza Bałtyckiego, jeszcze rzadziej dostępne są pomiary wykonywane na statkach badawczych. Najczęściej są one ograniczone jedynie do pomiarów odgórnych strumieni promieniowania. Zdecydowanie większy zasób danych można pozyskać wykorzystując numeryczne modele prognostyczne. Dostarczają one wyniki, które obejmują cały obszar Bałtyku z dowolną rozdzielczością czasową. Jak pokazałem jednak w pracy [6] wyniki z nich uzyskane obarczone są dość dużymi, często nieakceptowalnymi niepewnościami.

Moje doświadczenie związane z badaniami nad modelowaniem efektywnego promieniowania długofalowego (różnica między oddolnym i odgórnym strumieniem promieniowania długofalowego) prowadzonymi w ramach doktoratu wykazały, że wykorzystanie wciąż rozwijających się technik satelitarnych dostarczających z dużą częstotliwością czasową danych odzwierciedlających realny stan parametrów środowiskowych, umożliwia wyznaczenie bilansu promieniowania przy powierzchni morza

z dużą dokładnością. Wymaga to jednak opracowania lokalnych zależności funkcyjnych opartych o specyficzne parametry wejściowe pochodzenia satelitarnego, uzupełnionych tam, gdzie to konieczne, rozwiązaniami numerycznymi. Takie dane wejściowe pozwalają otrzymać obraz szukanego strumienia całego obszaru Morza Bałtyckiego a ograniczenia czasowe oraz przestrzenne determinowane są częstością wykonywanych obserwacji oraz rodzajem radiometrów.

Dlatego **głównym celem moich wieloletnich badań, które zaowocowały prezentowanym osiągnięciem było opracowanie podstaw teoretycznych i rozwiązań praktycznych umożliwiających ciągle monitorowanie bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego.** Realizacja tego celu skutkowałą **opracowaniem satelitarnego modelu** umożliwiającego na bieżąco, w sposób operacyjny wyznaczanie map rozkładu bilansu promieniowania oraz jego składowych dla Morza Bałtyckiego. Mapy te są wyświetlane każdego dnia w serwisie internetowym [satbaityk.iopan.gda.pl](http://satbaityk.iopan.gda.pl).

Cel ten został osiągnięty poprzez realizację celów cząstkowych, które obejmowały badania dotyczące:

- C.1. Przeglądu istniejących rozwiązań dotyczących określania bilansu promieniowania na powierzchni morza.
- C.2. Opracowania podstaw teoretycznych uwzględniających lokalny charakter półempirycznych zależności funkcyjnych.
- C.3. Wyboru aktualnie dostępnych danych wejściowych satelitarnych oraz pomocniczych z innych źródeł niż satelitarne umożliwiających operacyjną pracę modelu oraz opracowania koncepcji ich wykorzystania.
- C.4. Utworzenia bazy danych zawierającej skorelowane czasowo i przestrzennie dane empiryczne, satelitarne oraz numeryczne.
- C.5. Opracowania algorytmów umożliwiających wyznaczanie strumieni promieniowania w oparciu o dane satelitarne oraz pomocnicze zgromadzone w utworzonej bazie danych lub zaimplementowania już istniejących zweryfikowanych algorytmów.
- C.6. Opracowania rozwiązań umożliwiających operacyjne działanie opracowanego modelu.
- C.7. Walidacji i weryfikacji modelu.
- C.8. Wykorzystania opracowanego modelu bilansu promieniowania do śledzenia bieżących oraz analizy historycznych czasowo przestrzennych zmian bilansu promieniowania w rejonie Bałtyku.

Unikatowość rezultatów uzyskanych w wyniku realizacji tak postawionego zadania badawczego polega przede wszystkim na tym, że opracowany model jest pierwszym w pełni

operacyjnym rozwiązaniem dostosowanym do specyfiki Morza Bałtyckiego opartym o obserwacje satelitarne. Na tle podobnych obecnie działających rozwiązań globalnych wyróżnia się:

- ✓ wysoką rozdzielczością przestrzenną (1 km) i czasową (doba)
- ✓ wykorzystaniem oryginalnych zależności funkcyjnych opracowanych w oparciu o pomiary empiryczne przeprowadzone bezpośrednio na Bałtyku
- ✓ operacyjnym wykorzystaniem chwilowych danych wejściowych pobieranych dla odgórnych strumieni krótko i długofalowych z częstością 15 minut dla całego Bałtyku
- ✓ rozwiązaniami umożliwiającymi analizę poszczególnych składowych i całego bilansu promieniowania na całej powierzchni Morza Bałtyckiego
- ✓ wykorzystaniem w obliczeniach wszystkich składowych odgórnych i oddolnych strumieni składających się na bilans promieniowania zarówno dla dnia i nocy
- ✓ zastosowaniem jednolitej metodyki obliczeniowej do wyznaczania bieżących i archiwalnych (od 2010 roku) wartości poszczególnych strumieni promieniowania
- ✓ weryfikacją empiryczną prezentowanych wyników przeprowadzoną w oparciu o dane aktynometryczne pochodzące z różnych rejonów Morza Bałtyckiego
- ✓ ściśle określonymi dokładnościami wartości bilansu promieniowania oraz jego składowych
- ✓ bieżącą dostępnością do aktualnych i archiwalnych danych

Zostało to udokumentowane w **cyklu powiązanych tematycznie sześciu oryginalnych publikacji naukowych ([1] –[6])**, które jako osiągnięcie naukowe zgodnie z art. 219. ust. 1 pkt. 2 ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. o stopniach naukowych i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2021 r. poz. 478 z późn. zm.) stanowi podstawę do ubiegania się o stopień doktora habilitowanego.

## **Zakres badań i ich rezultaty**

Istotnym elementem prowadzonych badań były prace dotyczące możliwości wykorzystania półempirycznych zależności funkcyjnych i związków matematycznych między parametrami hydrometeorologicznymi i czterema strumieniami promieniowania przy zastosowaniu jak największej dostępnej liczby informacji satelitarnych i pomocniczych w celu uzyskania rozwiązań umożliwiających wyznaczanie bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego. Oparto się przy tym zarówno na istniejących już rozwiązaniach, które często wymagały modyfikacji



do celów zadania badawczego jak i na nowych, opracowanych na podstawie systematycznie zbieranego materiału empirycznego.

Pierwsza praca [1] (*A more accurate formula for calculating the net longwave radiation flux in the Baltic Sea*), która wchodzi w skład cyklu prac dokumentujących wykonane zadanie badawcze dotyczy przeglądu istniejących rozwiązań w zakresie określania chwilowych wartości promieniowania długofalowego i stanowi częściowo realizację celów szczegółowych C.1, C.2 i C.5. Przedstawione analizy dotyczą rozwinięcia już wcześniej opracowanego algorytmu przedstawionego w pracy [9] - patrz załącznik 4 rozdz. II punkt 4. Dodatkowo dokonałem w niej przeglądu istniejących formuł określających strumień promieniowania długofalowego na podstawie parametrów meteorologicznych. W oparciu o dane empiryczne, które uzyskałem bezpośrednio na morzu w czasie rejsów badawczych statkiem r/v Oceania przeprowadziłem weryfikację tych formuł pod kątem możliwości ich zastosowania dla Bałtyku. Okazało się, że większość z nich obarczona jest bardzo dużymi niepewnościami, nieakceptowalnymi przy modelowaniu bilansu promieniowania do celów badań klimatycznych. Wobec powyższego w pracy przedstawiłem własne rozwiązanie oparte na fizycznych i statystycznych relacjach pomiędzy parametrami meteorologicznymi oraz odgórnym strumieniem promieniowania długofalowego. Przeprowadzone analizy dotyczyły wpływu pary wodnej zawartej w atmosferze przy bezchmurnym niebie oraz chmur na wartości odgórnego strumienia promieniowania długofalowego. Przeanalizowano przy tym szereg rozwiązań uwzględniających obecność różnych typów chmur, skalę ich występowania oraz wysokość, na której się znajdują. Uzyskane rozwiązania w postaci zależności funkcyjnych, mimo ciągle dosyć dużych błędów statystycznych i systematycznych były dużo dokładniejsze od tych opracowanych dla innych rejonów świata. Analizy, które przeprowadziłem dla bezchmurnego nieba dowiodły konieczności opracowania nowej empirycznej zależności, która uwzględniałaby nie tylko dużo szerszy zakres zmienności zawartości pary wodnej i temperatury powietrza, ale także zmienności ich pionowych rozkładów w atmosferze związanych między innymi z sezonem. Takie analizy wymagały pozyskania większej ilości materiału empirycznego. W pracy analizowałem również oddolny strumień promieniowania długofalowego. Na podstawie przeprowadzonych analiz uzyskano wstępne korelacje między temperaturą powierzchni wody mierzoną termometrem a oddolnym strumieniem promieniowania długofalowego mierzonym czujnikiem zlokalizowanym ok. 3 m nad powierzchnią morza. Uzyskane wyniki i wnioski z nich płynące stanowiły podstawy teoretyczne do dalszych prac związanych z opracowaniem użytecznego modelu umożliwiającego bieżącą kontrolę bilansu promieniowania Bałtyku.

Jak wspomniałem wyżej, przeprowadzone analizy opierały się na materiale empirycznym, który pozyskałem w trakcie rejsów badawczych statkiem r/v Oceania w rejonie Bałtyku Południowego. Były to pomiary raczej incydentalne obejmujące ograniczony zakres zmienności parametrów hydrometeorologicznych. Powstawało zatem pytanie czy otrzymane zależności funkcyjne oraz korelacje statystyczne nadawały się do wdrożenia dla całego Bałtyku, dla którego zakres zmienności takich parametrów jak temperatura powietrza, temperatura wody czy prężność pary wodnej jest dużo większa niż w przypadku analizowanego materiału. Odpowiedź na te pytania uzyskano częściowo po publikacji kolejnej pracy wchodzącej w cykl prezentowanego osiągnięcia. W pracy [2] (*Longwave radiation budget at the Baltic Sea surface from satellite and atmospheric model data*) pokazałem możliwości zastosowania opracowanych i przedstawionych w pracy [1] zależności do tworzenia map rozkładu efektywnego strumieni promieniowania dla całego Bałtyku. Parametry meteorologiczne zastąpiłem odpowiednimi wielkościami wyznaczonymi na podstawie obserwacji satelitarnych. Opracowałem metodykę umożliwiającą tworzenie map składowych bilansu promieniowania dla całej powierzchni Morza Bałtyckiego na podstawie danych satelitarnych uzupełnionych danymi z innych źródeł. Satelitarne dane radiometryczne użyte w tej pracy pochodziły z radiometrów AVHRR oraz SEVIRI z kanału widzialnego o dość niskiej rozdzielczości przestrzennej i czasowej. Ze względu na ograniczoną liczbę danych empirycznych weryfikacja użytych algorytmów była ograniczona do chwilowych wartości oraz kilkunastu punktowych wartości dobowych. Te ograniczenia wynikały również z dostępności danych satelitarnych dotyczących temperatury powierzchni wody SST. Dane satelitarne SST są możliwe do pozyskania jedynie w warunkach bezchmurnych, co ograniczało w znaczny sposób ich użycie. W oparciu o odpowiednie metody statystyczne oraz wykorzystanie danych z innych źródeł m. in. informacji o rozkładzie chmur uzyskane na podstawie wieloletnich obserwacji satelitarnych oraz danych z modeli numerycznych opracowałem miesięczne mapy rozkładu wypadkowego strumienia długofalowego dla całego Bałtyku. W pracy tej przeprowadziłem również analizy, które pokazały znaczenie wpływu rozdzielczości czasowej użytych danych wejściowych na ostateczne wyniki. W oparciu o nie przedstawiłem sezonowe zmiany efektywnego promieniowania długofalowego (różnica między oddolnym i odgórnym strumieniem promieniowania długofalowego) dla całego Bałtyku oraz wybranych obszarów. Zaprezentowane w pracy [2] rezultaty zastosowania tej metodyki dla Morza Bałtyckiego, pomimo pewnych jej ograniczeń i stosunkowo dużego poziomu niepewności wynikającego m. in. z uproszczonego sposobu uwzględnienia pokrywy lodowej, można uznać za pionierskie. Analizy przedstawione w tej [2] oraz poprzedniej [1] pracy przyczyniły się do częściowej

realizacji celów szczegółowych C.2 i C.3 a jednocześnie stały się podstawą do podjęcia dalszych badań i w konsekwencji osiągnięcia założonego celu głównego. Wnioski wynikające z tych prac jednoznacznie wskazały na konieczność pozyskania odpowiedniego zbioru danych umożliwiającego zarówno opracowanie nowych lub adaptacji już istniejących półempirycznych związków statystycznych oraz zależności matematycznych do określania krótko i długofalowych strumieni promieniowania jak i stanowiącego podstawę do bieżącego operacyjnego wyznaczania tych wartości. Skonstruowanie takiej bazy danych obejmującej wyniki pomiarów przeprowadzonych w różnych sezonach i rejonach uzupełnione skorelowanymi czasowo i przestrzennie danymi satelitarnymi i modelowymi było nietrywialnym zadaniem wymagającym przeprowadzenia analiz możliwości pozyskania oraz jakości i bieżącej dostępności różnych źródeł danych przeprowadzonych w ramach realizacji celów C.3 i C.4. Dane takie musiały być udostępniane na bieżąco, regularnie, a ich źródło niezawodne, sprawdzone oraz zapewniające stały do nich dostęp w przyszłości. Osiągnięcie tych celów było niezbędnym warunkiem i umożliwiło przeprowadzenie analiz teoretycznych prowadzących do skonstruowania algorytmów umożliwiających bieżące wyznaczanie poszczególnych elementów bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego z satysfakcjonującą dokładnością.

Punktem zwrotnym w tych badaniach był mój udział w projekcie *Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego, SatBałtyk*<sup>1</sup>. Głównym celem tego projektu było opracowanie podstaw teoretycznych i utworzenie operacyjnego systemu udostępniającego on line mapy rozkładów wartości szeregu parametrów środowiskowych charakteryzujących Morze Bałtyckie. Moim zadaniem w tym projekcie było m. in. teoretyczne opracowanie i operacyjne wdrożenie podsystemu do wyznaczania bilansu promieniowania powierzchni Morza Bałtyckiego. Jako kierownik zadania zaplanowałem szereg przedsięwzięć, które w rezultacie umożliwiły mi realizację celu głównego opisywanego osiągnięcia naukowego. Moje dotychczasowe doświadczenie badawcze znacząco ułatwiło mi organizację prac grupy realizującej to zadanie. Opracowany przeze mnie plan prac przewidywał w pierwszej kolejności realizację celu szczegółowego związanego ze stworzeniem bazy danych. Wymagało to zorganizowania i wykonania szeregu podzadań o charakterze nie tylko teoretycznym, ale również techniczno-naukowym. Prace te prowadzone były równolegle a ja jako kierownik

---

<sup>1</sup> Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego (SatBałtyk) – projekt realizowany w latach 2010 – 2015 przez konsorcjum czterech instytucji Instytut Oceanologii PAN w Sopocie, Uniwersytet Gdański, Akademia Pomorska w Słupsku, Uniwersytet Szczeciński, w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, nr projektu POIG.01.01.02-22-011/09.

zadania miałem duży udział w ich realizacji jednocześnie koordynując wykonanie tych podzadań w ścisłej współpracy ze specjalistami z różnych dziedzin z instytucji zrzeszonych w Konsorcjum.

Jak już wspomniano kluczową rolę w opracowaniu wiarygodnych uwzględniających specyfikę Morza Bałtyckiego formuł matematycznych umożliwiających wyznaczenie odgórnych i oddolnych strumieni promieniowania na powierzchni tego morza odgrywają dane empiryczne, które odnoszą się do całego szeregu parametrów charakteryzujących analizowane wielkości i pochodzą z różnych źródeł. W ramach realizacji projektu zaplanowałem infrastrukturę pomiarową zapewniającą stały dopływ danych pomiarowych. Dzięki środkom z projektu zakupiłem aparaturę do pomiarów aktynometrycznych (piranometry i pyrgeometry Kipp&Zonen wysokiej klasy CMP21 oraz CG4) oraz parametrów meteorologicznych. Utworzyłem i uruchomiłem lądową stację pomiarową w bezpośredniej bliskości morza. Na stacji prowadzone są pomiary obejmujące krótko i długofalowe składowe odgórne strumienie promieniowania oraz parametry meteorologiczne, które stanowią dane wejściowe do formuł matematycznych umożliwiających wyznaczenie tych strumieni. Stacja jest autonomiczna i wykonuje pomiary w trybie ciągłym, które następnie przesyłane są na serwery systemu SatBałtyk oraz Uniwersytetu Pomorskiego w Słupsku (UPS). Dzięki temu na bieżąco na stronie [satbaaltyk.iopan.gda.pl](http://satbaaltyk.iopan.gda.pl) oraz specjalnie utworzonej stronie na UPS ([meteo.upsl.edu.pl](http://meteo.upsl.edu.pl)) można od 2011 roku śledzić zmienność wszystkich parametrów tam rejestrowanych oraz przez porównania sprawdzać modelowane na bieżąco odgórne strumienie promieniowania. Dostęp do ogromnej ilości w ten sposób gromadzonych danych umożliwił m. in. przeprowadzenie analiz dotyczących wyboru modelu umożliwiającego wyznaczenie odgórnej składowej krótkofalowej.

Dodatkowo dzięki środkom z projektu zakupiłem i uruchomiłem przenośny zestaw aktynometryczny umożliwiający pomiary krótko i długofalowych składowych promieniowania zarówno odgórnych jak i oddolnych bezpośrednio na statku. W latach 2011 – 2014 wziąłem udział w 16 rejsach głównie po Bałtyku Południowym, na których, wykorzystując ten zestaw, wykonywałem pomiary zasilające utworzoną bazę danych empirycznych. Baza ta była uzupełniana dodatkowymi danymi pomiarowymi pochodzącymi z analogicznych wzorcowych przyrządów (piranometrów i pyrgeometrów) umieszczanych czasowo na statku czy stacjach pomiarowych. W czasie rejsów badawczych zbierałem również inne dane niezbędne do modelowania bilansu promieniowania (temperatura powietrza na różnych wysokościach, temperatura wody mierzona zdalnie oraz w sposób tradycyjny, prężność pary wodnej, stopień pokrycia nieba chmurami, typy chmur, prędkość i kierunek wiatru).

Kolejnym elementem zaplanowanej infrastruktury pomiarowej był zestaw aktynometryczny, zakupiony również ze środków projektu SatBałtyk, umieszczony na platformie wiertniczej PetroBaltic. Zbierane tam dane okazały się nieocenionym materiałem porównawczym opisującym przebieg rocznych zmian wszystkich składowych bilansu promieniowania. Pomiarów te były zautomatyzowane jedynie częściowo a pobranie danych wymagało bezpośredniego dostępu do komputera znajdującego się na platformie, co było dużym wyzwaniem logistycznym i organizacyjnym. Kolejnym istotnym zagadnieniem było zapewnienie rzetelności pomiarów i zgodności bezwzględnych wartości parametrów pozyskanych ze wszystkich przyrządów. Kalibracja przeprowadzana była na podstawie pomiarów wykonanych zestawem przenośnym bezpośrednio na platformie lub na podstawie pomiarów przeprowadzanych na statku badawczym w czasie, gdy znajdował się w pobliżu platformy. Do organizacji tego trudno dostępnego stanowiska pomiarowego skłoniła mnie duża wartość naukowa pozyskanych danych. Dzięki takim działaniom zbudowałem bazę danych zawierającą wartości szeregu parametrów zgromadzonych w trakcie rejsów badawczych, ze stacji stacjonarnych oraz z Platformy PetroBaltic z zachowaniem jednolitej metodyki. Baza ta była uzupełniana na bieżąco danymi gromadzonymi podczas systematycznie wykonywanych pomiarów oraz danymi pochodzenia satelitarne i numerycznego.

Założenia dotyczące realizacji celów C.3, C.4, C.5 przedstawiłem w pracy [3] (*SatBałtyk - A Baltic environmental satellite remote sensing system - an ongoing project in Poland. Part 2: Practical applicability and preliminary results*). Publikacja ta dotyczyła ogólnych założeń i możliwości wykorzystania danych satelitarnych do monitorowania charakterystyk parametrów środowiskowych Morza Bałtyckiego w kontekście przygotowywanego operacyjnego systemu SatBałtyk oraz prezentowała wstępne wyniki praktycznych opracowanych już rozwiązań. Moim wkładem w tę publikację był podrozdział dotyczący bilansu promieniowania. Przedstawiłem w nim założenia dotyczące opracowania i wdrożenia do systemu produktów związanych z bilansem promieniowania. W oparciu o dostępne na tym etapie prac dane wejściowe (satelitarne oraz pomocnicze) zaprezentowałem przykładowe rozwiązania w postaci map rozkładu chwilowych wartości bilansu promieniowania oraz jego składowych dla całego Bałtyku. Scharakteryzowałem rolę oraz znaczenie poszczególnych składowych w bilansie promieniowania dla wartości chwilowych. Te analizy jednoznacznie potwierdziły znaczące różnice metodologiczne przy szacowaniu bilansu promieniowania powierzchni morza w stosunku do analogicznych rozwiązań dla powierzchni lądowych. Dodatkowo w pracy zaprezentowałem również niepewności statystyczne oszacowane dla wypadkowego strumienia krótko oraz długofalowego, które

określiłem w oparciu o dostępny materiał empiryczny. Informacje zawarte w tej pracy oraz wnioski z nich płynące nadały dalszy kierunek działań.

W ścisłej współpracy z pracownikami Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego oraz Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie w ramach projektu SatBałtyk opracowałem schematy operacyjnego transferu danych satelitarnych oraz modelowych ze stacji odbiorczych i serwerów obu instytucji do serwerów Akademii Pomorskiej. Zadania przypisane konsorcjantom dotyczyły m. in. gromadzenie surowych danych satelitarnych oraz danych modelowanych w oparciu o prognostyczne modele. Surowe dane radiometryczne były gromadzone na serwerach SatBałtyk, dzięki współpracy Konsorcjum z agencjami kosmicznymi, które te dane dystrybuowały oraz ośrodkami zajmującymi się modelowaniem numerycznym tj. ICM, UG oraz IO PAN. Współpraca w ramach Konsorcjum skutkowałą również ustaleniem wspólnych formatów danych oraz opracowaniem aplikacji dotyczących ich wstępnego przetwarzania. Wymagało to umiejętności z różnych obszarów wiedzy wykraczających poza obszar badań związanych z bilansem promieniowania. Zagadnienia techniczno – informatyczne koordynowałem w Akademii Pomorskiej w ramach moich zadań w projekcie SatBałtyk. Podstawowym źródłem danych satelitarnych wykorzystywanych w modelu bilansu promieniowania jest radiometr SEVIRI umieszczony na satelitach MSG 8, 9, 10, 11. Są to dane nowej generacji o dużo większej rozdzielczości czasowej oraz przestrzennej (1 km dla VIS i 3 km dla IR w punkcie podsatelitarnym) w porównaniu z jego wcześniejszą wersją, z której dane z kanału widzialnego wykorzystywałem w badaniach przy doktoracie. Dane z tego radiometru posłużyły do określenia wartości satelitarnego parametru zachmurzenia różnych dla godzin dziennych i nocnych. Do określania temperatury powierzchni wody wykorzystano dane z radiometru AVHRR umieszczonego na satelitach typu NOAA oraz METOP o rozdzielczości przestrzennej 1 km oraz czasowej do 8 scen Bałtyku na dobę. Pozostałe dane satelitarne pochodziły z radiometru MODIS umieszczonego na satelitach TERRA i AQUA, oraz z radiometrów SBUV2, TOVS, OMI/AURA. Dane pozyskane z wyżej wymienionych radiometrów wykorzystywane są jako dane wejściowe w modelach numerycznych, do określania grubości optycznej atmosfery oraz koncentracji ozonu. Rozdzielczość czasowa poszczególnych danych wynosiła od 15 min (SEVIRI) do miesiąca (SBUV2) w zależności od parametru. Rozdzielczość przestrzenna od 800 m (MODIS) do nawet kilkunastu kilometrów [6]. Dane pomocnicze pochodzą z prognostycznego modelu numerycznego M3D (trójwymiarowy model hydrodynamiczny), z modelu ekologicznego 3D CEMBS, UMPL (numeryczny model pogody dla Polski). Pozyskiwane dane pochodzenia satelitarnego oraz modelowego uzupełniały bazę danych empirycznych, którą tworzyłem

w oparciu o bezpośrednie pomiary na statku. Jak już wspomniano w czasie rejsów wykonywane były automatyczne pomiary wszystkich składowych bilansu promieniowania, pomiary hydrometeorologiczne oraz prowadziłem obserwacje chmur pod kątem zachmurzenia ogólnego jak i ich typów zarówno w dzień jak i w nocy. Podczas konstruowania bazy danych pomiary te były korelowane przestrzennie i czasowo z danymi satelitarnymi i modelowymi ze źródeł zewnętrznych opisanych powyżej. Wymagało to ode mnie przeprowadzenia badań dotyczących łączenia danych przestrzennych z punktowymi. Odnosiło się to do map rozkładów parametrów udostępnianych w różnych formatach przestrzennych i czasowych, które należało zunifikować. W oparciu o tworzoną bazę danych rozpocząłem prace związane z opracowaniem zależności funkcyjnych do wyznaczania dobowych map rozkładu składowych bilansu strumienia promieniowania tj.:

- Odgórnej składowej krótkofalowej  $SW_d$
- Oddolnej składowej krótkofalowej  $SW_u$
- Odgórnej składowej długofalowej  $LW_d$
- Oddolnej składowej długofalowej  $LW_u$

Do celów tworzenia map dobowych strumienia  $SW_d$  wybrałem model SOLRAD (Krężel i in. 2008), który był rozwijany u partnerów z UG. Zanim wybrałem ten model dokonałem przeglądu istniejących w literaturze i dostępnych w Internecie rozwiązań oraz przeprowadziłem ich analizę w oparciu o już zebrany materiał empiryczny. Model SOLRAD daje chwilowe wartości oświetlenia z rozdzielczością czasową 15 minut i jest jednym z końcowych produktów *Systemu SatBałtyk* uruchomionego w wyniku realizacji projektu. Te chwilowe wartości pozwoliły mi na opracowanie algorytmu umożliwiającego tworzenie dobowej mapy rozkładu odgórnej składowej krótkofalowej  $SW_d$  bilansu promieniowania dla całego Morza Bałtyckiego. Modyfikacje, które należało wprowadzić w modelu SOLRAD polegały na dostosowaniu go do obszarów chwilowo pokrytych lodem. Wymagało to przeprowadzenia badań dotyczących wprowadzenia do algorytmów odpowiednich wartości progowych rozróżniających chmury od lodu. Dane wejściowe do wyznaczania  $SW_d$  pochodzą z radiometrów SEVIRI, AVHRR, TOVS, OMI/AURA oraz numerycznego modelu UMPL.

Model SOLRAD zastosowałem również do generowania danych wejściowych w algorytmie wyznaczającym dobowy strumień  $SW_u$ . Uzyskanie ostatecznej wersji algorytmu umożliwiającego wyznaczanie  $SW_u$  wymagało szeregu analiz uwzględniających właściwości odbijające powierzchni wody oraz lodu. Analizy, które przeprowadziłem na podstawie materiału empirycznego, potwierdziły konieczność uwzględnienia przy modelowaniu

transmisji promieniowania słonecznego przez atmosferę oraz kąta słonecznego. Ostateczna zależność funkcyjna, którą wykorzystałem dla wody pochodziła z pracy Rozwadowska 1992 przy czym określiłem w niej nowe współczynniki empiryczne w oparciu o pozyskany materiał pomiarowy na statku oraz lądzie. W przypadku obecności lodu przyjąłem uśrednioną wartość albedo. Ta średnia wartość uwzględniała możliwe stany lodu (czysty, topniejący, skruszony lód i inne, śnieg) pokrywającego czasowo powierzchnię Bałtyku oraz niskie położenia Słońca dla okresów ich występowania. W przypadku śniegu uwzględniłem analizy, które wykonałem na podstawie pomiarów albedo na lądzie zimą 2012 – 2014 na terenie mojej posesji wykorzystując do tego przenośny zestaw aktynometryczny. Do celów operacyjnych wykorzystałem informacje o lodzie z modelu 3D CEMBS, którego jednym z produktów jest grubość pokrywy lodowej oraz zasięg jej występowania.

Strumień  $LW_d$  wymagał opracowania parametrów zachmurzenia dla dnia i nocy opartych na różnych kanałach spektralnych oraz odpowiednich półempirycznych zależności funkcyjnych uwzględniających obecność chmur, wysokość podstawy chmur oraz obecność pary wodnej w atmosferze. Wykorzystałem do tego badania omówione już w pracy [1]. Oddzielnym zagadnieniem było opracowanie funkcji, która umożliwiałaby określanie  $LW_d$  dla sytuacji bezchmurnej atmosfery. Ze względu na cel, którym było opracowanie modelu operacyjnego skupiłem się głównie na wpływie pary wodnej na docierający do powierzchni morza strumień  $LW_d$ , jako wielkości w tym przypadku najbardziej wpływającej na wartość  $LW_d$  przy braku chmur. Wpływ pozostałych gazów cieplarnianych uwzględniłem w stałej charakterystycznej dla tego rejonu. Być może w przyszłości przy odpowiedniej ilości dodatkowych danych możliwe będzie rozwinięcie tego elementu modelu o dodatkowe zmienne uwzględniające obecność różnych gazów cieplarnianych. Na obecnym etapie badań oraz przy obecnej dokładności danych wejściowych w algorytmie uwzględnienie tych czynników nie poprawiłoby jakości wyników w odniesieniu do uzyskiwanych niepewności statystycznych.

Prace badawcze prowadziłem jednocześnie w odniesieniu do wszystkich składowych bilansu promieniowania. Efekty tych badań tj. opracowane algorytmy oraz ich weryfikacje empiryczne przedstawiałem na seminariach w ramach projektu SatBałtyk oraz podczas szeregu wystąpień na krajowych i międzynarodowych konferencjach ([30] – [34] patrz załącznik 4 rozdz. II punkt 7). Przedstawiane wyniki dotyczyły chwilowych algorytmów oraz średnich dobowych opartych na danych zbieranych w czasie rejsów.

Operacyjne wyznaczanie strumienia  $LW_u$  wymagało, podobnie jak w przypadku innych strumieni, pokrycia danymi całego obszaru Bałtyku oraz uwzględnienia właściwości emisyjnych powierzchni wody oraz atmosfery. Pojawił się tu problem możliwości



wykorzystania danych satelitarnych w odniesieniu do całej powierzchni Bałtyku, podobnie jak w przypadku analiz przedstawionych w pracy [2]. Wstępne rozwiązania dotyczące tego problemu opierały się na wykorzystaniu wartości temperatur radiacyjnych powierzchni wody oszacowanych na podstawie obserwacji radiometrów SEVIRI. Opracowano metodykę, która na podstawie szeregów czasowych tych wartości pozwalała wypełniać mapę Bałtyku nawet w 95 % na podstawie danych z pięciu kolejnych dni. Wyniki tych prac przedstawiłem na międzynarodowej konferencji w Wiedniu ([32] - patrz załącznik 4 rozdz. II punkt 7). O ile sama metoda dawała duże możliwości umożliwiające wypełnienie mapy wartościami ze względu na wysoką rozdzielczość czasową, to uczestnicy konferencji zwrócili uwagę na dużą niepewność wartości temperatury, do czego odnieśli się w czasie dyskusji po wykładzie. Niepewność ta wynikała przede wszystkim z rozdzielczości przestrzennej radiometru SEVIRI, która w stosunku do radiometru AVHRR była kilkakrotnie mniejsza. To wpływało również na poprawne rozdzielenie obszarów bezchmurnych i zachmurzonych. Przeprowadzone badania pokazały jednak możliwości oferowane przez dane satelitarne o dużej rozdzielczości czasowej i niewątpliwie opracowana metodyka w przyszłości będzie mogła być wykorzystana w miarę wzrostu liczby obserwacji satelitarnych. Ostatecznie w modelu wykorzystano produkt hybrydowy temperatury powierzchni wody łączący dane satelitarne z modelowymi (Konik i in. 2019). Prace nad tym produktem hybrydowym prowadziliśmy m. in w ramach projektu SatBałtyk. Przeprowadzone badania pokazały, że do celów tworzenia rozkładów dobowych  $LW_u$  mniejsze niepewności uzyskuje się nie uwzględniając zmiennej związanej z odbitym promieniowaniem zwrotnym. Spowodowane jest to głównie dużo większą precyzją wyznaczanej temperatury powierzchni wody w porównaniu do wyznaczanego strumienia  $LW_d$ .

Pierwsze wyniki oraz weryfikacje omawianych wyżej rozwiązań stanowiących częściową realizację celów szczegółowych C.3 - C.8 przedstawiłem w pracy [4] (*Daily radiation budget of the Baltic Sea surface from satellite data*). Ich zastosowanie zobrazowałem w postaci map dobowych, które są ostatecznym rezultatem omawianego tu osiągnięcia. W pracy opisałem metodykę umożliwiającą tworzenie średnich dobowych map rozkładu bilansu promieniowania oraz jego składowych przy wykorzystaniu omówionych powyżej danych wejściowych satelitarnych i pomocniczych oraz półempirycznych formuł dedykowanych dla Bałtyku. Weryfikacja empiryczna opierała się o dane niezależne zbierane na platformie PetroBaltic w latach 2013-2014. Dane te ciągle nie pokrywały jeszcze całego roku. Niemniej uzyskane analizy statystyczne pokazały, że proponowana metodyka pozwala wyznaczać bilans promieniowania z niepewnością systematyczną -  $3 \text{ Wm}^{-2}$  i statystyczną

13 Wm<sup>-2</sup>. O ile niepewność systematyczna na tym etapie prac była satysfakcjonująca to należało poprawić niepewność metodyczną.

Dodatkowo, w pracy [4] określiłem średnie wartości roczne wszystkich składowych bilansu promieniowania dla całego Bałtyku na podstawie dostępnych już wtedy wieloletnich danych. Dało to możliwość pokazania relacji rocznych między poszczególnymi składowymi. Wkład poszczególnych strumieni do całego bilansu w skali rocznej był dodatkową informacją przy realizacji założonego w pracy głównego celu. Określono również średnią roczną wartość bilansu promieniowa Morza Bałtyckiego. Uzyskane wyniki taką metodą były unikalne dla Bałtyku i pozwalały odnieść się do danych z innych źródeł w ocenie chociażby sezonowej roli Bałtyku w kumulowaniu energii oraz jej oddawaniu.

Prace nad określeniem satelitarnego parametru zachmurzenia, który determinował obecność chmur, prowadziłem wspólnie z partnerami projektu SatBałtyk z UG. Interesowała mnie przy tym informacja użyteczna do zastosowania w modelowaniu strumienia LW<sub>d</sub> szczególnie dla godzin nocnych. Wyniki tych prac zostały przedstawione w pracy [5] (*Assessment of cloudiness for use in environmental Marine research*) wchodzącej w cykl publikacji tu prezentowanych i stanowiły jeden z elementów realizacji celu C.5. Parametr zachmurzenia nieba został określony oddzielnie dla dnia i nocy na podstawie kanałów widzialnych oraz podczerwonych radiometru SEVIRI. Mój wkład do tej publikacji to podstawy teoretyczne związane z zastosowaniem praw rządzących emisją ciała doskonale czarnego i praca nad rozwiązaniami umożliwiającymi określanie współczynnika dla godzin nocnych. Do określenia tego współczynnika wykorzystano uproszczoną postać prawa Plancka, którego rozkład dla badanych przedziałów zakresu długości fal sprowadzono do zależności liniowych. Takie podejście umożliwiło określenie parametru zachmurzenia analogicznego do używanego powszechnie zachmurzenia ogólnego nieba wyrażonego w skali dziesiętnej 0 - 1 na podstawie relacji między wartościami z kanałów termicznych. Opracowany parametr zachmurzenia wykorzystałem operacyjnie w modelu bilansu promieniowania jako jedną z danych wejściowych składowej odgórnej promieniowania długofalowego dla sytuacji nocnych, wprowadzając zależność funkcyjną zweryfikowaną empirycznie. Określenie tego współczynnika umożliwiło ocenę stopnia pokrycia piksela chmurami dla godzin nocnych na podstawie danych obserwacyjnych (satelitarnych).

W przypadku godzin dziennych zastosowałem daną wejściową, która w zamyśle miała być związana z emisją promieniowania chmur i odzwierciedlać stan zachmurzenia nieba. Na podstawie kanału widzialnego HRV radiometru SEVIRI znormalizowanego do skali 0 – 1

oraz danych empirycznych charakteryzujących różne stany zachmurzenia otrzymałem zależność funkcyjną, która wchodziła do algorytmu  $LW_d$  dla godzin dziennych. Ze względu na charakter wyznaczanych parametrów dla nocy i dnia funkcje zachmurzenia w obu przypadkach różnią się. W obu jednak przypadkach uwzględniają właściwości emisyjne oraz rozpraszające zachmurzonej atmosfery uwzględniając stopień pokrycia rozpatrywanego piksela chmurami oraz wysokość podstawy chmur. Zależności funkcyjne oraz współczynniki empiryczne uzyskałem w oparciu o korelacje statystyczne między danymi pomiarowymi, które wykonywałem w czasie rejsów badawczych oraz na stacji brzegowej, a parametrami pochodzenia satelitarnego oraz z modeli prognostycznych. W tym drugim przypadku analizy prowadzono tylko dla piksela całkowicie zachmurzonego. Współczynnik zachmurzenia wykorzystywany do określania strumienia  $SW_d$  łączy ze sobą poprzez odpowiednią zależność funkcyjną oraz wartości progowe osłabianie światła wynikające z obecności typu chmur oraz zanieczyszczenia nimi piksela. Nie jest on tożsamy z tym, który wykorzystano do wyznaczania  $LW_d$ .

Publikacja [6] (*A satellite system for monitoring the radiation budget at the Baltic Sea*) jest podsumowaniem przeprowadzonych badań. Stanowi ona udokumentowanie realizacji założonego celu głównego, którym było **opracowanie podstaw teoretycznych i rozwiązań praktycznych umożliwiających ciągle monitorowanie bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego**. W pracy tej zaprezentowałem końcowe, aktualnie stosowane rozwiązania dotyczące operacyjnego modelu bilansu promieniowania Morza Bałtyckiego. W oparciu o schemat blokowy przedstawiłem wszystkie procedury prowadzące do tworzenia map rozkładu bilansu promieniowania oraz jego składowych. Opisałem przy tym wszystkie zależności funkcyjne wykorzystywane przy modelowaniu bilansu promieniowania, empiryczne współczynniki, które uzyskałem przy opracowywaniu modeli tych zależności oraz wszystkie dane wejściowe. Przeprowadziłem weryfikację empiryczną modelu w oparciu o niezależne dane ze źródeł własnych (dane aktynometryczne z platformy PetroBaltic opracowane dla całego roku 2015) jak i dane zewnętrzne dotyczące strumieni odgórnych krótko i długofalowych mierzonych na stacji Svenska Högarna zlokalizowanej na wyspie w północnej części Bałtyku (59.41 N, 19.50 E). Otrzymane niepewności porównałem z analogicznymi, które otrzymałem dla danych z globalnych modeli OSI SAF (The Satellite Application Facility on Climate Monitoring), ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast) oraz CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System). Analizy przeprowadziłem wykorzystując bazę danych, którą utworzyłem na podstawie wartości uzyskanych z map udostępnianych w ramach projektu OSI SAF, modelu ECMWF, CERES. Wartości strumieni promieniowania

z pikseli pobrane z map skorelowałem czasowo i przestrzennie z danymi empirycznymi ze stacji PetroBaltic oraz Svenska Högarna. Dane empiryczne ze stacji Svenska Högarna udostępnione są na stronie Szwedzkiego Instytutu Meteorologicznego i Hydrologicznego SMHI. Wartości modelowanych strumieni promieniowania  $SW_d$ ,  $SW_u$ ,  $LW_d$ ,  $LW_u$  oraz NET (bilans promieniowania) dla pikseli, w obrębie których zlokalizowane są stacje pomiarowe porównałem z danymi mierzonymi chwilowymi (średnie dziesięciominutowe), średnimi dobowymi oraz miesięcznymi dla całego roku 2015. Obliczenia przeprowadziłem w różnych rozdzielczościach przestrzennych odpowiadających danym modelowym OSI SAF, ECMWF, CERES. Dzięki temu uzyskałem obraz jakości opracowanego przeze mnie modelu w odniesieniu do innych stosowanych rozwiązań na świecie. Przeprowadzone analizy porównawcze wykazały, że wartości strumieni promieniowania  $SW_d$ ,  $SW_u$ ,  $LW_d$ ,  $LW_u$  oraz NET uzyskane z opracowanego w ramach omawianego tu osiągnięcia modelu bilansu promieniowania obarczone są dużo mniejszymi niepewnościami statystycznymi oraz systematycznymi w porównaniu do analogicznych wartości wyznaczanych na podstawie ECMWF oraz CERES. W przypadku danych z OSI SAF wartości są porównywalne dla strumieni odgórnych. Satelitarny system OSI SAF nie wyznacza bezpośrednio oddolnych strumieni, co uniemożliwia określenie całkowitego bilansu promieniowania. Dodatkowym ograniczeniem modelu OSI SAF w stosunku do opracowanego w tej pracy jest brak pokrycia danymi całego obszaru Morza Bałtyckiego. W przypadku danych z CERES mamy do czynienia z niską rozdzielczością czasową (1 miesiąc) oraz przestrzenną ograniczającą informację do zaledwie kilku pikseli pokrywających obszary czysto morskie. W dodatkowych analizach porównawczych przeprowadziłem ocenę jakości danych modelu w odniesieniu do pory roku. Uzyskane wyniki wskazują na nieznaczące odchylenia statystyczne oraz systematyczne w stosunku do niezależnych danych pomiarowych.

Jak już wspomniano we wstępie, niewątpliwą zaletą opracowanego modelu jest jego operacyjność. Prowadzone prace w ramach projektu SatBałtyk umożliwiły stworzenie autonomicznych aplikacji, w których zastosowano opracowane i przetestowane algorytmy. Satelitarne dane wejściowe oraz dane pomocnicze są pobierane automatycznie na bieżąco w miarę pojawiania się w systemie. Niezbędne do tego rozwiązania techniczne oraz informatyczne, które koordynowałem były realizowane z udziałem zespołu zatrudnionego w Zakładzie Fizyki Środowiska AP w Słupsku w ramach projektu SatBałtyk oraz w ramach współpracy z kolegami z UG oraz IO PAN biorącymi udział w projekcie. Potwierdzeniem tych prac jest zaprezentowana w publikacji [6] przykładowa dobową mapą rozkładu bilansu promieniowania pobrana z systemu SatBałtyk. Takie mapy wraz ze składowymi są tworzone

i wyświetlane w systemie każdego dnia. Ich podgląd dostępny jest w Internecie pod adresem [satbaltyk.iopan.gda.pl](http://satbaltyk.iopan.gda.pl). Na stronie tej dostępne są również mapy archiwalnych wartości bilansu promieniowania i jego składowych począwszy od roku 2010. Baza map jest na bieżąco uzupełniana każdego dnia o nowe dzięki operacyjnym rozwiązaniom omówionym wyżej. Utworzona w ten sposób baza danych daje ogromne możliwości badawcze w odniesieniu do analiz zmian czasowo-przestrzennych zachodzących w rejonie Morza Bałtyckiego. Wszystkie dane tworzone w oparciu o opracowany model opierają się na jednolitej metodyce. Dzięki temu prowadzone analizy jednoznacznie mogą wskazywać na ewentualne zmiany w bilansie promieniowania oraz jego składowych, a co za tym idzie wskazywać ewentualne trendy. Wstępne analizy dotyczące charakterystyki bilansu promieniowania oraz czasowych i przestrzennych zmian prezentowałem na kilku konferencjach krajowych i międzynarodowych ([45], [47], [49] - [51], [54] – patrz załącznik 4 rozdz. II punkt 7). Uzyskane zależności potwierdzają zachodzące zmiany w rejonie Morza Bałtyckiego oraz **wskazują na przydatność opracowanego osiągnięcia do analiz zmian środowiskowych i rozszerzenia wiedzy o tym akwenu.**

#### Literatura

- Kniebusch, M., Meier, H. E. M., Neumann, T., and Börgel, F., 2019A, Temperature Variability of the Baltic Sea Since 1850 and Attribution to Atmospheric Forcing Variables, *J. Geophys. Res.-Oceans*, 124, 4168–4187.
- Konik M., Kowalewski M., Bradtke K., Darecki M., 2019, The operational method of filling information gaps in satellite imagery using numerical models, *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.*, 75, 68-82.
- Krzęzel, A., Kozłowski, Ł., Paszkuta, M., 2008. A simple model of light transmission through the atmosphere over the Baltic Sea utilizing satellite data. *Oceanologia* 50 (2), 125–146.
- Meier M., Kniebusch M., Dieterich Ch., Gröger M., Zorita E., Elmgren R., Myrberg K., Ahola M., Bartosova A., Bonsdorff E., Börgel F., Capell R., Carlén I., Carlund T., Carstensen J., Christensen O. B., Dierschke V., Frauen C., Frederiksen M., Gaget E., Galatius A., Haapala J., Halkka A., Hugelius G., Hünicke B., Jaagus J., Jüssi M., Käyhkö J., Kirchner N., Kjellström E., Kulinski K., Lehmann A., Lindström G., May W., Miller P., Mohrholz V., Müller-Karulis B., Pavón-Jordán D., Quante M., Reckermann M., Rutgersson A., Savchuk O. P., Stendel M., Tuomi L., Viitasalo M., Weisse R., Zhang W., 2022, Climate change in the Baltic Sea region: a summary, *Earth System Dynamics*, vol. 13, Issue 1, 457 – 593.
- Omstedt, J. Elken, A. Lehmann, M. Lepparanta, Meier H., Myrberg K., Rutgersson A., 2014, Progress in physical oceanography of the Baltic Sea during the 2003–2014 period, *Progress in Oceanography*, 128, 139-17.
- Pfeifroth, U., Sanchez-Lorenzo, A., Manara, V., Trentmann, J., and Hollmann, R., 2017, Trends and Variability of Surface Solar Radiation in Europe Based On Surface- and Satellite-Based Data Records, *J. Geophys. Res.-Atmos.*, 123, 1735–1754.
- Rozwadowska A., 1992, The variability in Solar Energy Influx to the Southern Baltic, Ph.D. thesis, Gdańsk Univ., Gdynia.

- Rutgersson, A., Kjellström, E., Haapala, J., Stendel, M., Danilovich, I., Drews, M., Jylhä, K., Kujala, P., Larsén, X. G., Halsnæs, K., Lehtonen, I., Luomaranta, A., Nilsson, E., Olsson, T., Särkkä, J., Tuomi, L., and Wasmund, N.: 2022, Natural hazards and extreme events in the Baltic Sea region, *Earth Syst. Dynam.*, 13, 251–301.
- Rutgersson, A., Jaagus, J., Schenk, F., and Stendel, M., 2014, Observed changes and variability of atmospheric parameters in the Baltic Sea region during the last 200 years, *Clim. Res.*, 61, 177–190.
- Stramska, M. and Białogrodzka, J., 2015, Spatial and temporal variability of sea surface temperature in the Baltic Sea based on 32-years (1982–2013) of satellite data, *Oceanologia*, 57, 223–235.
- Trenberth K. E., Fasullo J. T., Kiehl J., 2009, Earth's global energy budget, *American Meteorological Society* 90, 3, 311 – 323
- Tomczyk, A. M., Bednorz, E., and Szyga-Pluta, K., 2021, Changes in Air Temperature and Snow Cover in Winter in Poland, *Atmosphere*, 12, 68.
- Wild, M., Wacker, S., Yang, S., and Sanchez-Lorenzo, A., 2021, Evidence for Clear-sky Dimming and Brightening in Central Europe, *Geophys. Res. Lett.*, 48, e2020GL092216.
- Wild, M., 2016, Decadal changes in radiative fluxes at land and ocean surfaces and their relevance for global warming, *Wires. Clim. Change*, 7, 91–107.
- Zapadka T., Woźniak S.B., Woźniak B., 2001, A simple formula for Baltic Sea surface net infrared radiation flux, *Oceanologia*, 3 (3), 265-277.

5. Informacja o wykazywaniu się istotną aktywnością naukową albo artystyczną realizowaną w więcej niż jednej uczelni, instytucji naukowej lub instytucji kultury, w szczególności zagranicznej.

Studia magisterskie na kierunku Fizyka w Wyższej Szkole Pedagogicznej w Słupsku ukończyłem w roku 1997. W trakcie studiów moje zainteresowania skupiały się wokół zagadnień związanych z optyką, a głównie propagacją światła w ośrodkach wodnych. Już w trakcie studiów zostałem zatrudniony jako pracownik naukowo – techniczny w Instytucie Fizyki WSP w Słupsku, gdzie prowadziłem badania dotyczące właściwości refrakcyjnych różnych typów wód. Zwieńczeniem tych prac była praca magisterska pisana pod kierunkiem dr hab. prof. WSP Henryka Wrembla. W oparciu o wyniki tej pracy oraz prowadzone badania powstała publikacja (Wrembel i in. 1997), której byłem współautorem. W tym czasie rozpocząłem już pracę w Instytucie Fizyki WSP w Słupsku na stanowisku asystenta. Moja praca badawcza na tym stanowisku ewaluowała w kierunku obszarów morskich, co zaowocowało nawiązaniem współpracy z instytucjami działającymi w obszarze badań środowiska morskiego. Współpraca z pracownikami Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie dała mi możliwość udziału w pierwszych moich rejsach badawczych na statku r/v Oceania. Początkowo, badania w których tam uczestniczyłem dotyczyły optycznych właściwości wody

morskiej. Poznałem nowoczesne metody pomiarów właściwości optycznych i biooptycznych wody morskiej. Wykonywane przeze mnie prace nie ograniczały się jedynie do pomiarów bezpośrednich w wodzie ale również pomiarów laboratoryjnych, w tym między innymi analiz spektroskopowych. Zdobyte w ten sposób doświadczenia oraz wiedza pomogła mi w przyszłych badaniach dotyczących biooptycznych właściwości jezior realizowanych w Zakładzie Fizyki Środowiska. W międzyczasie swoje zainteresowania przekierowałem na zagadnienia związane z wymianą energii między powierzchnią morza a atmosferą i efektem cieplarnianym. W roku 1999 rozpocząłem badania związane z wymianą promieniowania podczerwonego (długofalowego) między powierzchnią morza i atmosferą. W roku 1999, we współpracy z IO PAN rozpocząłem badania związane z wymianą promieniowania podczerwonego między powierzchnią morza i atmosferą. Specyfika tych badań umożliwiła prowadzenie prac w trakcie rejsów organizowanych przez różne grupy badawcze. Uczestnictwo w pracach specjalistów z różnych dziedzin wykorzystałem do zdobycia doświadczenia w innych obszarach wiedzy, między innymi poznając podstawy meteorologii morskiej czy akustyczne metody badania środowiska morskiego. Znacząco rozszerzyło to moje horyzonty badawcze i zwiększyło kompetencje, które wykorzystywałem w swojej dalszej pracy naukowej i dydaktycznej.

Współpraca z pracownikami z IO PAN oraz prowadzone badania na statku r/v Oceania zaowocowała powstaniem dwóch publikacji dotyczących wymiany promieniowania długofalowego między powierzchnią morza i atmosferą ([8], [9]). W tym czasie rozpocząłem również współpracę z pracownikami Uniwersytetu Gdańskiego w zakresie analizy zdjęć satelitarnych. Dzięki tej współpracy poznałem aktualne możliwości wykorzystania obrazów satelitarnych do określania parametrów środowiskowych powierzchni morza. Nabyłem też umiejętności wykorzystania programu TNTmips do analizy tego typu danych. Między innymi dzięki tej współpracy możliwe było przygotowanie dysertacji doktorskiej pt. *Modelowanie efektywnego promieniowania podczerwonego Bałtyku z wykorzystaniem radiometrycznych danych satelitarnych i standardowych danych hydrometeorologicznych*, którą obroniłem w 2006 roku. Promotorem pracy był prof. dr hab. Bogdan Woźniak, dzięki któremu miałem możliwość nawiązania omawianej współpracy.

W ramach współpracy z IO PAN oraz UG w latach 2001 – 2005 brałem również udział w projekcie badawczym *Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu*

*Bałtyku* DESAMBEM<sup>2</sup>. W projekcie brałem udział m. in. w badaniach związanych z określaniem temperatury powierzchni wody z poziomu satelitarnego.

Po uzyskaniu stopnia doktora rozpocząłem badania dotyczące biooptycznych właściwości jezior Pomorza Środkowego m. in w oparciu o pomiary zdalne (podsatelitarne). W latach 2008 - 2009 uczestniczyłem w projekcie *Charakterystyki biooptyczne jezior w środkowej części Pomorza Środkowego*<sup>3</sup>, którego głównym wykonawcą oraz kierownikiem był dr Dariusz Ficek. W ciągu tych dwóch lat systematycznie wykonywałem pomiary na 10 jeziorach oraz pobierałem próbki do dalszych analiz laboratoryjnych. Wykonywane pomiary dotyczyły spektralnej radiacji oddolnej i odgórnej na różnych głębokościach oraz nad powierzchnią wody. Dodatkowo w oparciu o metody fluorescencyjne badałem rozkład w toni wodnej stężenia chlorofilu oraz badałem właściwości rozpraszające wody za pomocą miernika rozpraszania światła wstecz firmy WetLabs. Prowadziłem również analizy laboratoryjne zebranych próbek. Prace te prowadziłem również we współpracy z pracownikami z Instytutu Biologii Akademii Pomorskiej w Słupsku (APSL). Ich rezultatem są publikacje oraz prezentacje przedstawione w czasie wystąpień konferencyjnych, których jestem współautorem ( [10] - [12], [14] - [16], [26], [27], [29] patrz załącznik 4, rozdz. II punkt 4 i 7).

Prowadzone w Zakładzie Fizyki Środowiska badania biooptycznych właściwości wody realizowane były między innymi we współpracy z Instytutem Łomonosowa w Moskwie. W ramach tej współpracy w roku 2010 wziąłem udział w rejsie badawczym po Oceanie Atlantyckim, który rozpoczynał się w Ushuai w Argentynie, a kończył w Szczecinie. W trakcie rejsu realizowałem badania w ramach projektu *Biooptyczne modelowanie adaptacji naturalnych populacji fitoplanktonu do warunków w środowisku morskim*<sup>4</sup>, którego kierownikiem był dr Romanem Majchrowski. Moim zadaniem w tym rejsie było prowadzenie obserwacji meteorologicznych, wykonywanie i nadzór nad pomiarami aktywnymi dotyczącymi oświetlenia, przygotowanie stanowiska pomiarowego do ciągłego poboru wody oceanicznej, nadzór nad automatycznymi pomiarami absorpcji i osłabiania światła w wodzie przyrządem AC9, pomiar parametrów biooptycznych, sączenie wody oraz pomiar innych parametrów biochemicznych charakteryzujących wodę. Wyniki prowadzonych tam badań zaprezentowałem m. in. w raportach porejsowych oraz część z nich w publikacji [18], której jestem współautorem.

---

<sup>2</sup> DESAMBEM (DEvelopment of a SATellite Method of Baltic Ecosystem Monitoring) - projekt badawczy nr PBZ-KBN 056/P04/2001 realizowany w latach 2001 – 2005 w ramach współpracy IO PAN (koordynator), UG, APSL, przy współpracy z Morskim Instytutem Rybackim.

<sup>3</sup> Projekt badawczy nr N N306066434 realizowany w latach 2008 – 2012 w Instytucie Fizyki APSL.

<sup>4</sup>Projekt badawczy nr N N304 275235 realizowany w latach 2008 – 2011 w Instytucie Fizyki APSL



Moja współpraca z pracownikami IO PAN w Sopocie oraz Instytutem Oceanografii UG była kontynuowana w ramach Sieci Naukowej *Międzyinstytutowego Zespołu Satelitarnych Obserwacji Środowiska Morskiego* dofinansowanej częściowo ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego<sup>5</sup>. W pracach Zespołu uczestniczyłem z ramienia Instytutu Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku. Uzyskane w ramach sieci środki finansowe umożliwiły rozwój i promocję badań w zakresie wykorzystania danych satelitarnych do określania parametrów środowiska Morza Bałtyckiego. W ramach tej sieci powstało szereg inicjatyw zarówno naukowych jak i popularyzujących naukę, a najważniejszą z nich było przygotowanie oraz złożenie projektu *Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego, SatBałtyk*. Będąc członkiem sieci brałem udział w przygotowaniu tego projektu w zakresie dotyczącym badania promieniowania na powierzchni morza w oparciu o dane satelitarne. Zaproszenie mnie do projektu wiązało się z moimi dotychczasowymi doświadczeniami w badaniach, które prowadziłem między innymi w ramach mojego doktoratu. Projekt *SatBałtyk* został przyjęty do realizacji w 2010 roku. Podczas jego realizacji kierowałem pracami grupy zadaniowej odpowiedzialnej za opracowanie podstaw teoretycznych oraz wdrożenie podsystemu do wyznaczania i udostępniania produktów związanych z bilansem promieniowania powierzchni Morza Bałtyckiego. Projekt realizowany był przez czterech partnerów w ramach Konsorcjum Naukowego *SatBałtyk*, którego liderem był IO PAN w Sopocie a konsorcjantami Instytut Oceanografii UG, Instytut Fizyki APSL oraz Uniwersytet Szczeciński. Dzięki wspólnej pracy wspomnianych jednostek naukowych powstał operacyjny system, który udostępnia każdego dnia szereg parametrów środowiska Morza Bałtyckiego. Wyniki badań przeprowadzonych w ramach projektu, których jestem autorem lub współautorem zostały opublikowane w renomowanych czasopiśmie oraz prezentowane na licznych konferencjach krajowych i międzynarodowych ([13], [14], [22],[24], [28], [30]-[41], [43] – [47] – patrz załącznik 4 rozdz. II punkt 4 i 7).

Utrzymanie oraz prowadzenie aktywności stacji badawczej zlokalizowanej na terenie Słowińskiego Parku Narodowego, która powstała w ramach projektu *SatBałtyk*, oparte jest na formalnej współpracy Uniwersytetu Pomorskiego ze Słowińskim Parkiem Narodowym. Dzięki tej współpracy od 2011 możliwe jest prowadzenie stacji i udostępnianie danych pomiarowych on line na stronie [www.meteo.upsl.edu.pl](http://www.meteo.upsl.edu.pl).

Moja współpraca z partnerami z UG oraz IO PAN kontynuowana jest również po zakończeniu projektu *SatBałtyk*. W ramach tej współpracy opublikowane zostały między

---

<sup>5</sup> Sieć Naukowa *Międzyinstytutowy Zespół Satelitarnych Obserwacji Środowiska Morskiego* finansowana decyzją Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego Nr 31/E-45/BWSN-0105/2008

innymi prace, które prezentują wykorzystanie danych z systemu SatBałtyk do oceny czasowych i przestrzennych zmian parametrów środowiskowych w rejonie Morza Bałtyckiego ([19], [20] – załącznik 4 rozdz. II punkt 4).

Poprawne działanie systemu SatBałtyk oraz jego kontrola wymaga ciągłego współdziałania osób zaangażowanych w jego powstawanie. Prowadzona jest bieżąca weryfikacja udostępnianych w nim danych, a moją rolą jest kontrola produktów dotyczących bilansu promieniowania. Nasze wspólne działania w okresie poprojektowym w ramach kontynuowanej współpracy polegają między innymi na spotkaniach zespołów tworzących system w celu weryfikacji empirycznej bieżących i archiwalnych produktów. Jedno z takich spotkań skutkowało pomysłem rozszerzenia bazy danych archiwalnych do roku 2000. Możliwość rozszerzenia bazy dotyczącej produktów bilansu promieniowania w oparciu o dane wejściowe sprzed 2010 roku zaprezentowałem na seminarium w IO PAN w Sopocie. Jak pokazałem dane wejściowe dostępne w tym okresie wymagają kalibracji, która umożliwiłaby zestawianie ich z odpowiednimi opracowywanymi po roku 2010. Stało się to kolejnym wyzwaniem w ramach prowadzonej współpracy.

Chęć powiększenia istniejącego już archiwum o dane historyczne oraz ciągły dopływ bieżących danych uświadomiła konsorcjantom konieczność usystematyzowania tworzonej bazy danych. Zaowocowało to przygotowaniem założeń i złożeniem wniosku o dofinansowanie projektu *Elektroniczne Centrum Udostępniania Danych Oceanograficznych eCUDO.pl*. Projekt eCUDO.pl<sup>6</sup> otrzymał dofinansowanie w roku 2019 i zakończył się w roku bieżącym. Jego głównym osiągnięciem jest stworzenie centralnej bazy danych, która umożliwia dostęp z jednego miejsca nie tylko do danych z *Systemu SatBałtyk*, ale również innych systemów i danych pochodzących z instytucji naukowych wchodzących w skład Konsorcjum realizujących ten projekt. Szczegółowe informacje o projekcie można znaleźć na stronie internetowej [ecudo.pl](http://ecudo.pl). Obok czterech instytucji składających się na Konsorcjum SatBałtyk do projektu eCUDO dołączyły zespoły z Instytutu Morskiego Uniwersytetu Morskiego w Gdyni, Morskiego Instytutu Rybackiego, Państwowego Instytutu Geologicznego. Moim zadaniem w tym projekcie było dostosowanie danych tworzonych w APSL do odpowiednich formatów spełniających wymagania tworzonej bazy danych, zapewnienie jakości przetwarzanych i udostępnianych danych w zakresie składowych bilansu promieniowania widzialnego oraz termicznego na granicy morze - atmosfera, prace nad opracowaniem systemu sfederowanego

---

<sup>6</sup> *Elektroniczne Centrum Udostępniania Danych Oceanograficznych eCUDO.pl* - projekt badawczy POPC.02.03.01-00-0062/18-00 realizowany w latach 2019 -2023 w ramach Programu Operacyjnego Polska Cyfrowa

oraz zadania związane z integracją oraz zasilaniem systemu danymi. Brałem również udział w pracach promocyjnych systemu m. in. wygłaszałem wykłady w ramach spotkań promujących projekt w Gdyni, Słupsku, Osadzie Danków [52], [53], [54] oraz na sympozjum w Paryżu [47] – patrz załącznik 4 rozdz. II punkt 7. Oprócz obowiązków związanych z realizacją merytoryczną projektu pełniłem w nim również funkcję członka komitetu sterującego.

6. Informacja o osiągnięciach dydaktycznych, organizacyjnych oraz popularyzujących naukę lub sztukę.

Od początku mojej kariery zawodowej związany jestem z Uniwersytetem Pomorskim w Słupsku najpierw jako asystent w Wyższej Szkole Pedagogicznej a po obronie doktoratu aż do chwili obecnej jako adiunkt w Pomorskiej Akademii Pedagogicznej, Akademii Pomorskiej w Słupsku i aktualnie Uniwersytetu Pomorskiego w Słupsku<sup>7</sup>. Zdobyte doświadczenie i kwalifikacje naukowe z powodzeniem wykorzystuję w dydaktyce. Moja długoletnia działalność dydaktyczna obejmuje kształcenie studentów stacjonarnych i niestacjonarnych na kierunku Fizyka, Fizyka Techniczna, Geografia, Matematyka, Informatyka, Edukacja Techniczno-Informatyczna, Biologia, Ochrona Środowiska, Bezpieczeństwo Narodowe. Przedmioty, które prowadziłem w ramach pracy dydaktycznej związane były z kierunkiem Fizyka, który ukończyłem oraz tematyką powiązaną z moją pracą badawczą. Na uczelni realizowałem zajęcia w postaci wykładów, ćwiczeń, audytoriów, laboratoriów oraz zajęć terenowych w wymiarze godzin dydaktycznych przewidzianych dla adiunkta (załącznik 5 punkt 1).

Oprócz prowadzenia zajęć byłem promotorem 10 prac licencjackich oraz inżynierskich na kierunku Fizyka i Fizyka Techniczna (załącznik 5 punkt 2.1). Studenci uczestniczyli razem ze mną w krótkich rejsach po morzu Bałtyckim na wynajmowanych kutrach oraz kilkudniowych rejsach na statku r/v Oceania w ramach współpracy z IO PAN w Sopocie czy pomiarach prowadzonych na jeziorach. Recenzowałem ponad 15 prac licencjackich, inżynierskich oraz magisterskich.

W latach 2018 – 2022 byłem opiekunem praktyk na kierunku Fizyka techniczna.

Moja działalność dydaktyczna była zawsze wysoko oceniona zarówno przez przełożonych jak i przez studentów, co potwierdzają ankiety ewaluacyjne wypełniane przez studentów po przeprowadzonych zajęciach.

---

<sup>7</sup> W roku 2000 Wyższa Szkoła Pedagogiczna w Słupsku została przekształcona w Pomorską Akademię Pedagogiczną w Słupsku, w 2006 roku w Akademię Pomorską w Słupsku, od 2023 nazwa Uczelni to Uniwersytet Pomorski w Słupsku.

W 2008 roku dostałem zadanie od dyrekcji Instytutu Fizyki dotyczące utworzenia nowego kierunku Fizyka Techniczna, który miał zastąpić funkcjonujący do tej pory w IF kierunek Fizyka. Wniosek dotyczący utworzenia, ww. kierunku studiów, którego byłem koordynatorem oraz głównym autorem został zaakceptowany przez Państwową Komisję Akredytacyjną i uruchomiony w 2009 roku w APSL.

W kolejnych latach w związku ze zmianami zachodzącymi w realizacji systemu kształcenia na uczelniach wyższych brałem udział w opracowywaniu oraz aktualizacji szeregu autorskich programów nauczania na kierunku Fizyka Techniczna, Edukacja Techniczno-Informatyczna, Geografia, Ochrona Środowiska, Informatyka, Matematyka. W latach 2017 - 2018 w ramach projektu *Rozwój systemu kształcenia o profilu praktycznym w ramach Słupskiego Ośrodka Akademickiego (SOA)* brałem udział w opracowaniu autorskiego programu nauczania dla specjalności Fizykochemiczna inżynieria materiałoznawstwa. Tworzony program nauczania opracowywałem m. in. w ścisłej współpracy z przedsiębiorcami skupionym wokół Słupskiego Inkubatora Technologicznego SIT.

Istotnym moim osiągnięciem jest również działalność związana z popularyzacją nauki. W zasadzie od początku mojej pracy brałem udział w imprezach promujących oraz popularyzujących naukę. W ramach promocji Uczelni oraz kierunku jeździłem na uczelniane targi rekrutacyjne do szkół ponadgimnazjalnych, gdzie obok formalnych zadań prezentowałem i objaśniałem ciekawe zjawiska fizyczne. Prowadziłem wykłady oraz warsztaty dla uczniów szkół gimnazjalnych oraz ponadgimnazjalnych o różnej tematyce w ramach cyklicznych spotkań typu Środowiskowe Warsztaty Edukacyjne, Fizyka na pokaz czy Fizyka może być fajna (załącznik 5 punkt 3).

Brałem również udział w lokalnych oraz ogólnokrajowych festiwalach nauki (załącznik 5 punkt 3). Wśród nich należy podkreślić mój udział w cyklicznych przedsięwzięciach takich jak Bałtycki Festiwal Nauki, Nasz Bałtyk oraz pokazach w ramach Nocy Muzeów czy Dniach Technik Satelitarnych. Za duże osiągnięcie dydaktyczne uważam również udział w Pikniku Naukowym Polskiego Radia i Centrum Nauki Kopernik, w którym regularnie uczestniczyłem od 2008 roku, a od roku 2011 do 2019 byłem głównym koordynatorem oraz uczestnikiem z ramienia projektu SatBałtyk.

Oprócz działalności dydaktycznej na Uczelni od lutego 2020 roku do czerwca bieżącego roku pracowałem jak nauczyciel przedmiotu fizyka w szkole podstawowej w wymiarze 7/18 etatu.

Prowadzę również aktywną działalność organizacyjną na rzecz Uczelni. W latach 2016 – 2020 miałem zaszczyt być członkiem Rady Wydziału Matematyczno – Przyrodniczego

Akademii Pomorskiej w Słupsku (z ramienia niesamodzielných pracowników naukowych). Od roku 2007 do roku 2020 zasiadałem w Radzie Instytutu Fizyki AP w Słupsku. W 2008 roku byłem członkiem Wydziałowej Komisji Rekrutacyjnej Wydziału Matematyczno-Przyrodniczego dla kandydatów na studia. Poza tym byłem członkiem Wydziałowej Komisji Wyborczej oraz członkiem Komisji Wewnętrznego Systemu Zapewniania Jakości. Od października 2021 roku jestem członkiem Uczelnianego Zespołu ds. kształcenia Nauczycieli Akademii Pomorskiej w Słupsku, którego zadaniem jest między innymi praca nad koncepcją kształcenia nauczycieli oraz stały przegląd programów studiów w zakresie kształcenia pedagogicznego. W październiku 2022 zostałem powołany na członka grupy zadaniowej ds. Dydaktyki i Programów Studiów w Instytucie Biologii i Nauk o Ziemi.

Moja działalność obejmuje również uczestnictwo w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych. W 2013 roku miałem zaszczyt być przewodniczącym komitetu organizacyjnego III Sympozjum Konsorcjum Naukowego SatBałtyk *Badania satelitarne mórz i akwenów śródlądowych w aspekcie zmian klimatu Ziemi* oraz członkiem komitetu programowego. W ww. sympozjum, które odbyło się w dniach 8 – 11 maja w miejscowości Ryn, wygłoszono 30 referatów i uczestniczyło w nim 59 osób z różnych ośrodków naukowych w tym również spoza Konsorcjum. Jako członek komitetu programowego występowałem również w IV i V spotkaniu tego cyklu. W roku 2015 byłem członkiem komitetu organizacyjnego Krajowej Konferencji Naukowej – *Stan, trendy zmian oraz współczesne metody monitorowania środowiska Morza Bałtyckiego - Bałtyk 2015*, a w 2021 *Launch of the Polish Space Rocket* w Słupsku.

We wrześniu 2022 roku byłem współorganizatorem oraz prowadzącym spotkanie w Słupsku podsumowujące oraz promujące projekt eCUDO.

7. Oprócz kwestii wymienionych w pkt. 1-6, wnioskodawca może podać inne informacje, ważne z jego punktu widzenia, dotyczące jego kariery zawodowej.

Obecne moje badania skupiają się na analizach wygenerowanych w Systemie map rozkładów bilansu promieniowania oraz jego składowych. W ramach tego przygotowuję publikację dotyczącą czasowo-przestrzennej charakterystyki bilansu promieniowania Bałtyku w latach 2010 – 2022. Dodatkowo pracuję nad rozszerzeniem zakresu archiwum danych bilansu promieniowania o okres sprzed 2010 roku. Wymaga to kalibracji modelu opartego o inne dane wejściowe, które są dostępne dla lat sprzed 2010 roku. Jednocześnie pracuję nad rozwojem modelu w związku z pojawianiem się nowych danych satelitarnych oraz możliwością ograniczenia w przyszłości dostępności do aktualnych danych związanych z zakończeniem

działania urządzeń pomiarowych znajdujących się na satelitach. Uzupełnieniem powyższych badań są pomiary realizowane na stacjach aktynometrycznych, które jak wspomniałem realizuję od roku 2011. Aktualnie przygotowuję raport, który uwzględnia dziesięcioletnie już pomiary realizowane na stacji aktynometrycznej. Badania te są elementem prac w ramach zadań statutowych, którymi kieruję od 2019 roku w Instytucie Biologii i Nauk o Ziemi (załącznik 4 rozdz. II punkt 15).

Tomasz Zapadka  
(podpis wnioskodawcy)