

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/282976550>

System SatBałtyk satelitarny monitoring środowiska Bałtyku struktura, funkcjonowanie, możliwości operacyjne

Book · October 2015

DOI: 10.13140/RG.2.1.4286.2807

CITATIONS

4

READS

693

5 authors, including:



Mirosława Ostrowska

Institute of Oceanology Polish Academy of Sciences

66 PUBLICATIONS 955 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Mirosław Darecki

Institute of Oceanology Polish Academy of Sciences

86 PUBLICATIONS 2,428 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Marek Kowalewski

University of Gdańsk

67 PUBLICATIONS 696 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Adam Krężel

University of Gdańsk

53 PUBLICATIONS 769 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

System SatBałtyk

satelitarny monitoring

środowiska Bałtyku

struktura, funkcjonowanie,
możliwości operacyjne



Mirosława Ostrowska¹, Mirosław Darecki¹,
Marek Kowalewski^{1,2}, Adam Krężel², Jerzy Dera¹

¹Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk

²Instytut Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego

© Copyright by Konsorcjum SatBałtyk

© Copyright by Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk



Adres Redakcji:
81-712 Sopot, ul. Powstańców Warszawy 55
e-mail: editor@iopan.gda.pl

Redakcja techniczna
i grafika komputerowa:
AGATA BIELECKA,
JOANNA MORAWSKA,
STANISŁAW WĘSŁAWSKI

© Konsorcjum SatBałtyk, Sopot 2015
© Instytut Oceanologii PAN, Sopot 2015

ISBN 978-83-941037-0-5

Nakład: 100 egz.
Oddano do druku w październiku 2015 r.

Adresatem niniejszego opracowania jest szerokie grono czytelników niebędących specjalistami w dziedzinie badań morza, ale zajmujących się zawodowo bądź po prostu zainteresowanych środowiskiem Bałtyku, różnymi formami wykorzystania jego przestrzeni, zasobów, jego ochroną lub zachodzącymi w nim zmianami. Broszura w przystępnej formie przedstawia strukturę, zasady działania i możliwości wykorzystania w monitoringu środowiska Bałtyku uruchomionego ostatnio operacyjnego Systemu SatBałtyk, który jest wynikiem realizacji projektu pod nazwą „Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego”¹, sfinansowanego ze środków Unii Europejskiej. System ten umożliwia sprawne i systematyczne określanie stanu i prognozowanie zmian środowiska Bałtyku wraz z jego strefą brzegową, w oparciu o nowatorskie techniki satelitarne wsparte odpowiednimi modelami matematycznymi procesów zachodzących w tym morzu. Trudno jest przecenić możliwość śledzenia na bieżąco coraz wyraźniej zauważalnych zmian ekosystemu Bałtyku i postępującego zanieczyszczenia jego wód różnymi substancjami. Wykorzystanie systematycznie dostarczanych przez System SatBałtyk informacji w postaci map, danych liczbowych, prognoz zmian i opisów charakterystyk strukturalnych i funkcjonalnych środowiska Morza Bałtyckiego może pomóc w wypełnieniu obowiązków naszego kraju wynikających z międzynarodowych konwencji i regulacji prawnych, zobowiązań dotyczących ochrony i obligatoryjnego monitorowania tego środowiska, w tym monitorowania procesów wpływających na klimat w naszym regionie Europy. Szczególnym dążeniem autorów jest przybliżenie powyższych zagadnień osobom decydującym o różnych formach wykorzystania i ochrony środowiska Bałtyku. W kolejnych rozdziałach czytelnik znajdzie odpowiedzi na pytania dotyczące między innymi możliwości nowoczesnych metod i technik monitorowania środowiska Morza Bałtyckiego, których wyniki służyć mogą racjonalnemu wykorzystaniu przestrzeni i zasobów tego akwenu. Rezultaty takiego monitorowania są też wysoce przydatne, wręcz niezbędne w działaniach na rzecz ochrony środowiska morskiego i zapobiegania katastrofom ekologicznym, a nawet przy rozstrzyganiu potencjalnych sporów i konfliktów, w tym konfliktów międzynarodowych.

¹Projekt nr POIG. 01.01.02-22-011/09 pt. „Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego – SatBałtyk” realizowany w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka; Oś priorytetowa 1: Badania i rozwój nowoczesnych technologii; Działanie 1.1: Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy.

Spis treści

Przedmowa	3
1. Wprowadzenie	7
1.1. Dlaczego obserwacja środowiska morskiego jest ważna i potrzebna?	7
1.2. W jaki sposób z satelity uzyskuje się informacje o środowisku morskim?	11
2. Sysytem SatBałtyk	15
2.1. Jak powstał System SatBałtyk?	15
2.2. Jak działa System SatBałtyk?	17
2.3. Gdzie zainstalowane są urządzenia tworzące system SatBałtyk?	20
2.4. Jakie satelity wykorzystywane są w Systemie SatBałtyk? . . .	21
2.5. Jaką rolę w systemie SatBałtyk pełnią pomiary <i>in situ</i> („pod-satelitarne”)?	22
3. Charakterystyki środowiska Bałtyku wyznaczane przez System SatBałtyk	29
3.1. Jakie informacje o Morzu Bałtyckim prezentowane są w Systemie SatBałtyk?	29
3.2. Jakie strategiczne informacje zapewnia System SatBałtyk? . .	33
3.3. Dla kogo przeznaczony jest System SatBałtyk?	35
4. Podsumowanie	39
Literatura pomocnicza	41
Aneks 1. Parametry środowiska Bałtyku wyznaczane przez System SatBałtyk	47

Aneks 2. Satelity i zainstalowane na nich urządzenia pomiarowe	50
Aneks 3. Konsorcjum Naukowe SatBałtyk; osoby odpowiedzialne za realizację projektu	53

Rozdział 1

Wprowadzenie

Rozdział ten pokrótce omawia rolę, jaką pełnią morza i oceany w kształtowaniu klimatu i warunków życia na Ziemi, a także uświadamia związek działalności człowieka ze zmianami zachodzącymi w środowisku morskim. Ochrona tego środowiska wymaga systematycznego monitorowania jego stanów i przemian oraz analizowania przyczyn i przewidywania skutków tych przemian. Realizowane jest to za pomocą nowoczesnych metod i technik pozyskiwania wiarygodnych danych o ekosystemach morskich. Prowadzenie takiej systematycznej i rutynowej obserwacji dużych obszarów morskich umożliwiają przedstawione poniżej nowoczesne techniki satelitarne.

1.1. Dlaczego obserwacja środowiska morskiego jest ważna i potrzebna?

Oceany i morza zajmują ok. 71% obszaru powierzchni Ziemi, a objętość zawartych w nich wód wynosi w przybliżeniu 1370 mln km³. Te gigantyczne masy wody wchłaniają, przenoszą z prądami i wydzielają ciepło, gazy atmosferyczne i inne substancje, wywierając w ten sposób silny wpływ na klimat i warunki życia na Ziemi. W uzmysłowaniu sobie skali tych zjawisk może pomóc chociażby informacja, że z jednego metra kwadratowego powierzchni Wszechoceanu rocznie średnio wyparowuje do atmosfery ok. tony wody. Oznacza to, że w skali globalnej ok. 361 bilionów ton (361×10^{12} t) wody z oceanów i mórz rocznie nawilża atmosferę. Część z tej wody opada następnie na kontynenty i zrasza glebę.

Wynikające z przyczyn naturalnych bądź z działania człowieka zmiany w środowisku morskim mogą więc wywierać istotny wpływ na biosferę Ziemi, a w konsekwencji skutkować zmianami klimatu i warunków życia zarówno w skali lokalnej, jak i globalnej. Postępujące zanieczyszczanie różnymi substancjami, wnikającymi z atmosfery, rzek i brzegów morskich, powoduje coraz wyraźniej zauważalne zmiany właściwości mórz. Tylko sys-

tematyczne monitorowanie ekosystemów morskich umożliwia identyfikację przyczyn i skutków tych zmian. Daje to szansę na uniknięcie bądź zminimalizowanie ich niepożądanych długofalowych następstw.

Bałtyk aktualnie wydziela więcej dwutlenku węgla do atmosfery niż go pochłania; ocieplanie jego wód sprzyja inwazji obcych gatunków flory i fauny morskiej; rozwijają się trujące glony; rośnie liczba pasożytów i chorób zwierząt morskich; maleją zasoby ryb użytkowych; prądy morskie przenoszą zanieczyszczenia z wód terytorialnych jednych krajów do innych; częstsze i bardziej intensywne sztormy niszczą budowle i brzegi morskie i wpływają na liczbę katastrof. Musimy te i inne zmiany monitorować, aby w porę zapobiegać ich skutkom i znajdować sposoby przystosowania się do nich. Systematyczna obserwacja środowiska morskiego jest też niezbędna przy planowaniu i wdrażaniu nowych inwestycji na morzu i u jego brzegów oraz aby przewidywać skutki ingerencji człowieka w środowisko i w porę zapobiegać kosztownym i niebezpiecznym kolizjom i katastrofom ekologicznym.

Znajomość natury środowiska morskiego i jego bieżących przemian jest więc podstawą racjonalnego w nim gospodarowania i pogodzenia potrzeb m.in. żeglugi, rybołówstwa, przemysłu wydobywczego (ropa naftowa, żwiry), gospodarki komunalnej (ścieki), energetyki (kable, rury, elektrownie wiatrowe), budownictwa morskiego (porty, nabrzeża, pomosty), sportu i rekreacji (mariny, plaże), bezpieczeństwa i obronności kraju i oczywiście także potrzeb resortu ochrony środowiska (ochrona ginących gatunków roślin i zwierząt morskich, morskie rezerваты przyrody). Instytucje zarządzające działaniami w tych wszystkich wspomnianych wyżej obszarach powinny mieć stały dostęp do wyników monitorowania odpowiedniego rejonu środowiska morskiego i opierać na nich swoje plany i decyzje. Monitorowanie to powinno obejmować funkcjonalne i strukturalne charakterystyki morza i atmosfery i to w znacznie szerszym zakresie niż obligują do tego dotychczasowe ustalenia i dyrektywy, nieuwzględniające współczesnego postępu wiedzy, najnowszych technik badawczych i nowych zagrożeń.

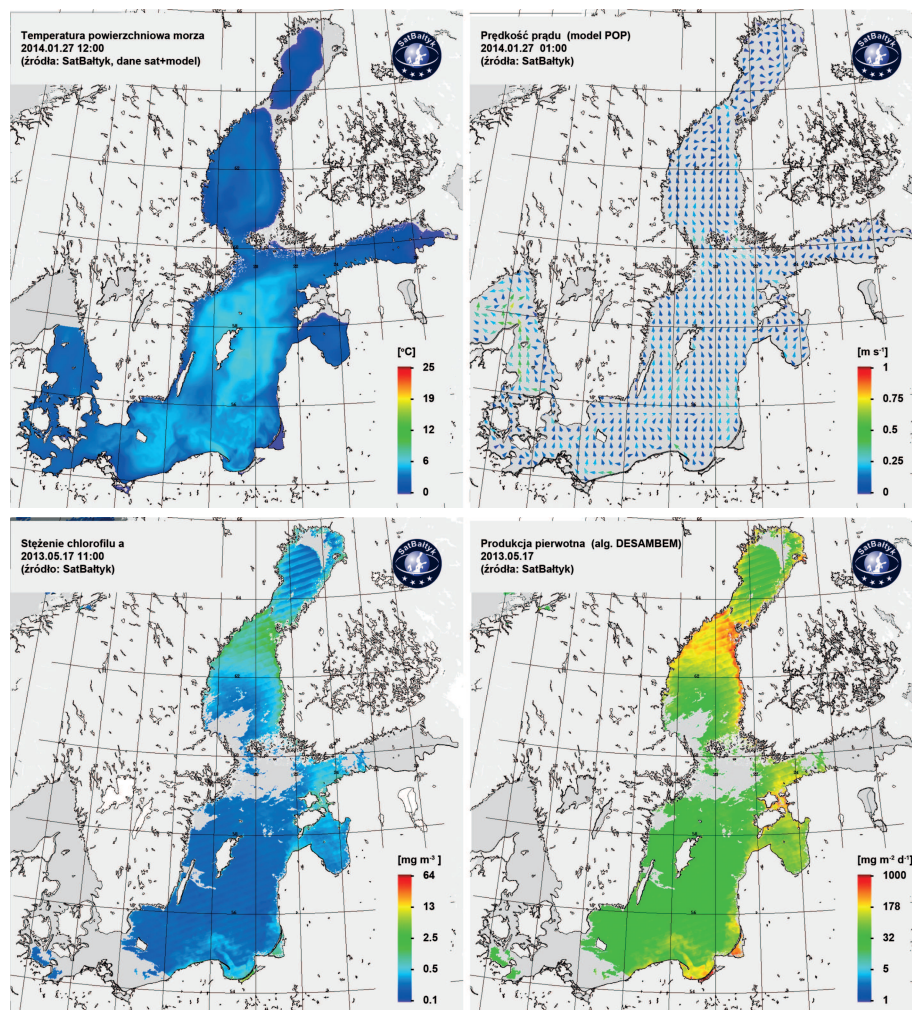
Ciągła obserwacja przyczyn i skutków zmian zachodzących w środowisku Bałtyku jest też potrzebna do przewidywania i zapobiegania konfliktom i katastrofom, wobec wykorzystywania tego morza przez wiele krajów w różnych celach i w różnych sferach działalności ludzkiej jednocześnie. Z Morzem Bałtyckim sąsiaduje 9 krajów, zamieszkałych przez ok. 147 mln ludzi (bez Federacji Rosyjskiej) i prowadzących różnorodną działalność. Skutkuje to zanieczyszczaniem tego półzamkniętego morza odpadami przemysłowymi,

komunalnymi i rolniczymi, substancjami ropopochodnymi, lekami, w tym antybiotykami, i in.

Stąd, w myśl zaleceń, programów i regulacji prawnych rekomendowanych przez międzynarodowe organizacje i grupy ekspertów, większość krajów prowadzi na bieżąco badania stanów i przemian środowiska morskiego. Wśród tych organizacji wymienić trzeba przede wszystkim Organizację Narodów Zjednoczonych (ONZ) wraz z wyspecjalizowanymi agencjami, np. Międzynarodową Organizacją Morską, Międzyrządową Komisją Oceanograficzną UNESCO (MKO UNESCO), i Unię Europejską (UE) z jej programem Zintegrowanej Polityki Morskiej (An Integrated Maritime Policy for the European Union), zwanym Niebieską Księgą, i raportem Grupy Ekspertów ds. Morskiej Infrastruktury Badawczej Komisji Europejskiej, a także z dwiema kluczowymi regulacjami: Dyrektywą Wodną (EU Water Framework Directive WFD) i Dyrektywą w Sprawie Strategii Morskiej (EU Marine Strategy Framework Directive MSFD).

Polska również prowadzi od lat monitoring Bałtyku oparty na pomiarach oceanograficznych w morzu podczas rejsów statkami i analizach laboratoryjnych pobranych z morza próbek wody i innych materiałów. Taka „klasyczna” metoda monitoringu, dostarczająca niezwykle cennych danych o środowisku, zaspokaja dużą część wyżej opisanych potrzeb. Jej zaletą jest możliwość bezpośredniej diagnozy stanu środowiska w badanych miejscach i czasie. Jest ona jednak bardzo kosztowna i ogranicza zakres diagnozy jedynie do miejsca i czasu pomiarów wykonywanych podczas kilku rejsów monitoringowych rocznie. Takie techniki monitorowania nie zapewniają informacji i obserwacji odnoszących się do większych obszarów i przedziałów czasowych, niezbędnych do pełnego opisu stanu środowiska morskiego oraz śledzenia jego długo- i krótkookresowych zmian. W ostatnich kilkudziesięciu latach w obserwacji rozległych obszarów morskich szerokie zastosowanie znajdują nowoczesne techniki satelitarne, wspomagane licznymi badaniami naukowymi. W połączeniu z coraz głębszą wiedzą o mechanizmach procesów zachodzących w środowisku morskim stanowią one sprawne narzędzia do badań i skutecznej, dokładnej diagnozy stanów akwenów morskich, także takich jak półzamknięte Morze Bałtyckie, uznawanych za niezwykle trudne do obserwacji z poziomu satelity.

Takie nowatorskie metody, opisane szczegółowo dalej, zostały opracowane i są wprowadzane w życie w wyniku wieloletniej pracy zespołów



Rys. 1.1. Mapy czterech charakterystyk środowiska Bałtyku (przykładowe produkty Systemu SatBałtyk). Na mapach przedstawiono kolejno: temperaturę powierzchniową, prądy powierzchniowe, stężenie chlorofilu i pierwotną produkcję materii organicznej pod jednostkową powierzchnią

naukowych Konsorcjum SatBałtyk¹. Dzięki temu możliwe jest nie tylko zobrazowanie, ale też określenie z wysoką dokładnością wartości liczbowych przestrzennych rozkładów temperatury, zasolenia i przezroczystości wód,

¹Konsorcjum SatBałtyk zostało utworzone w 2009 r. w celu wspólnej realizacji Projektu „Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego – SatBałtyk” przez Instytut Oceanologii PAN w Sopocie (koordynatora), Uniwersytet Gdański, Uniwersytet Szczeciński i Akademię Pomorską w Słupsku. Więcej informacji na ten temat znajduje się w Aneksie 3.

prądów morskich (przepływy wód przenoszące m.in. zanieczyszczenia), koncentracji różnych substancji rozpuszczonych i zawieszonych w wodzie, zakwitów fitoplanktonu, zalodzenia powierzchni morza, rozlewów olejowych, mocy promieniowania zasilającego ekosystemy morskie, szybkości i ilości produkowanej w morzu materii organicznej i wolnego tlenu w procesie fotosyntezy, zasięgu zalewania plaż przez fale sztormowe, erozji materiału z brzegów morskich i wielu innych charakterystyk stanu środowiska Bałtyku zestawionych bardziej szczegółowo w Aneksie 1. Na Rys. 1.1 przedstawiono cztery przykładowe mapy zaczerpnięte z artykułu J. Dery z czasopisma „Fakty, Magazyn Gospodarczy”. Opracowanie takich charakterystyk w postaci map odnoszących się do całego obszaru Morza Bałtyckiego możliwe jest dzięki wykorzystaniu technik satelitarnych w połączeniu z zaawansowanymi modelami matematycznymi powstałymi w wyniku wieloletnich badań naukowych.

Wykorzystanie obserwacji satelitarnych obejmujących jednocześnie duże obszary morskie znacząco rozszerza zakres merytoryczny, przestrzenny i czasowy informacji pozyskiwanych o tym środowisku. Jednak warto podkreślić już w tym miejscu, że zapewnienie odpowiedniej dokładności tych informacji ciągle wymaga uzupełniających pomiarów pozyskiwanych metodami tradycyjnymi – bezpośrednio w środowisku morskim bądź poprzez laboratoryjną analizę próbek materiału pobranego z morza.

1.2. W jaki sposób z satelity uzyskuje się informacje o środowisku morskim?

Źródłem informacji o stanie środowiska morskiego docierającej do urządzeń pomiarowych na pokładzie satelity jest promieniowanie elektromagnetyczne rozproszone i emitowane w przypowierzchniowej warstwie morza. Ze względu na sposób oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z atmosferą ziemską (pochłanianie i rozpraszanie) oraz z obiektem zainteresowania (morze, powierzchnia Ziemi), w teledetekcji satelitarnej wykorzystywane jest ono tylko w trzech przedziałach spektralnych, różniących się między sobą zakresem długości fali. Są to: i) promieniowanie widzialne czyli po prostu światło, ii) promieniowanie podczerwone (cieplne) oraz iii) mikrofalowe. Już zwykłe, cyfrowe zdjęcie powierzchni morza (zarejestrowane w świetle widzialnym) może dostarczyć wielu informacji jednocześnie o dużej części tego środowiska. Jednak wykorzystanie techniki satelitarnej do monitorowania różnych charakterystyk środowiska morskiego nie ogranicza się do fotografii. W zależności od przeznaczenia satelity na jego pokładzie umieszczony może być odpowiedni zestaw radiometrów do pomiarów promieniowania elektromagnetycznego o wybranych długościach

fal (pasmach widma). Podczas lotu satelity nad Ziemią radiometr obserwuje z oddalenia (teledetekcja) powierzchnię morza poprzez elektroniczną rejestrację sygnału docierającego do niego z kolejnych wycinków jej powierzchni (np. o rozmiarach 1 na 1 km) nazywanych pikselami. W następnym momencie do obiektywu radiometru trafia sygnał z kolejnego wycinka powierzchni morza (piksela) i w ten sposób następuje obserwacja (skanowanie) całej powierzchni badanego obszaru morza. Przy czym zarówno dla sygnałów świetlnych, jak i w zakresie podczerwieni zasadniczą przeszkodą na drodze od morza do satelity są najczęściej chmury, które mogą nawet uniemożliwić teledetekcję zasłoniętych nimi obszarów morza.

Sygnał świetlny z morza, który odbiera satelita (analizowany dalej po odpowiednich korektach związanych z jego modyfikacją i znacznym osłabieniem w wyniku oddziaływania z atmosferą), jest zwykle częścią strumienia światła dziennego, które do morza dotarło. Na skutek rozpraszania w toni wodnej, odbicia od powierzchni lub emisji przez tę powierzchnię (zakres termalny) wraca ono do atmosfery i może być rejestrowane nawet z przestrzeni kosmicznej. W strumieniu światła skierowanym w górę brakuje, w porównaniu z tym, które dotarło do morza, części energii fal świetlnych pochłoniętych przez różne składniki znajdujące się w wodzie morskiej. Ponieważ wcześniej zbadane zostało pochłanianie światła i inne właściwości optyczne wielu występujących w morzach składników (substancji organicznych, pigmentów fitoplanktonu, różnego rodzaju cząstek zawiesiny i in.), na tej podstawie wnioskujemy, które z nich i w jakim stężeniu znajdują się w morzu. Rozpoznając z kolei obecność, stężenia i zmiany w czasie określonych składników wody morskiej, możemy dalej wnioskować, które procesy przyrodnicze i z jaką intensywnością zachodzą w obserwowanym z satelity akwenie (np. ile materii organicznej jest produkowane w toni wodnej w ciągu doby, czy występują trujące algi, skąd dopływają różne substancje, czy wody są wystarczająco natleniane itp.).

Stosunek strumienia światła skierowanego w górę do strumienia skierowanego w dół (tj. do oświetlenia odgórnego) tuż pod powierzchnią morza (z uwzględnieniem kąтового rozkładu tego promieniowania) nazywa się refleksyjnością mierzoną zdalnie, krótko – „refleksyjnością zdalną”² (po angielsku: „remote sensing reflectance”) oznaczaną zwykle symbolem R_s . Wartości tej

²Objętość i charakter tego opracowania nie pozwala na szczegółową analizę przedstawianych w nim zagadnień. Dla zainteresowanych czytelników w spisie literatury uzupełniającej umieszczono wybrane pozycje, w których można znaleźć więcej informacji związanych z poruszaną w tym rozdziale tematyką. I tak na przykład ścisłe definicje refleksyjności znaleźć można w pracach: Morel i Prieur (1977), Schaepman-Strub i in. (2006).

reflektancji dla różnych długości fal światła (kanałów spektralnych radiometru) wyznaczamy na podstawie sygnałów rejestrowanych przez satelity.

W wyniku wspomnianych już wcześniej wieloletnich badań optycznych morza, wiemy nie tylko jakie substancje zawarte w Morzu Bałtyckim pochłaniają „brakujące” w reflektancji energie określonych pasm fal świetlnych, ale i dysponujemy modelowymi formułami matematycznymi, które na podstawie reflektancji zdalnej określonej dla różnych długości fal pozwalają z dużym prawdopodobieństwem wyznaczać stężenia tych substancji w badanej toni wodnej.

W przypadku teledetekcji satelitarnej może być również rejestrowany sygnał w zakresie fal podczerwonych (promieniowanie cieplne) oraz mikrofal, których charakterystyka spektralna zależy od temperatury powierzchni promieniującej. Zatem na podstawie charakterystyki tego promieniowania, rejestrowanego również przez radiometry na satelitach, wyznacza się na przykład temperaturę powierzchni morza, zasięg występowania lodu morskiego, prędkość wiatru przywodnego i wiele innych parametrów.

Obok wyżej naszkicowanej **pasywnej** metody teledetekcji, do monitorowania niektórych obiektów i zjawisk (np. lodu, plam olejowych na powierzchni morza, prędkości i kierunku wiatru, wysokości fal wiatrowych) wykorzystuje się także różne formy teledetekcji **aktywnej**. W tej metodzie satelita wykorzystuje swoje własne źródło fal elektromagnetycznych o znanej charakterystyce (w zakresie mikrofalowym – radarowych), z którego wysyła impulsy promieniowania w stronę badanego obiektu i rejestruje zmiany charakterystyki tych impulsów po odbiciu od niego.

Analiza sygnałów, rejestrowanych przez urządzenia pracujące na pokładach satelitów, wymaga zwykle złożonych obliczeń, które pozwalają wyznaczać, na podstawie natężenia promieniowania odpowiednio dobranych długości fal, różne charakterystyki środowiska. Formuły matematyczne umożliwiające takie wyznaczanie różnych charakterystyk środowiska są ich matematycznymi modelami, a logicznie zestawiony do kolejnych wyliczeń zbiór tych formuł nazywamy algorytmem. Algorytm bezpośrednio służy do obliczeń prowadzonych rutynowo, często automatycznie, przez dostosowaną jednostkę obliczeniową.

Warto pamiętać, że satelity monitorują jedynie powierzchnię wraz z górną warstwą morza penetrowaną przez światło bądź inne fale elektromagnetyczne, które nie docierają głębiej na skutek ich pochłaniania i rozpraszania w wodzie morskiej. Wiele informacji o głębszych warstwach morza, a nawet o całej toni wodnej, uzyskujemy metodami pośrednimi, bazując na dopasowanych do Morza Bałtyckiego zależnościach opisujących zmiany różnych parametrów środowiskowych wraz z głębokością, na podstawie informacji zebranych na powierzchni morza. Różne zbiory takich modelowych

formuł matematycznych opracowane zostały w wyniku wieloletnich badań środowiska morskiego przez naukowców. Formuły odpowiednie dla Bałtyku są głównie wynikiem badań naukowych i analiz polskich zespołów tworzących wspomniane wcześniej Konsorcjum SatBałtyk.

Przedstawiona analiza sygnałów, rejestrowanych przez radiometry na pokładach sztucznych satelitów Ziemi, musi być jeszcze uzupełniona poprzez ich przetwarzanie prowadzące do precyzyjnego określenia współrzędnych geograficznych każdego piksela oraz korekcję geometryczną ujednolicającą ich rozmiary, różne ze względu na kształt „fotografowanego” fragmentu powierzchni kuli ziemskiej. Część bieżących charakterystyk środowiska wyznacza się za pomocą tzw. diagnostycznych modeli matematycznych, bezpośrednio na podstawie danych wejściowych (reflektancji i innych sygnałów optycznych), które rejestrują satelity. Modele tzw. prognostyczne pozwalają z kolei przewidywać wielkości charakterystyk środowiska w przyszłości (na ogół na kilka dni do przodu) na podstawie danych wcześniejszych. Oprócz opisanej funkcji prognozowania, modele matematyczne wykorzystuje się też w monitoringu satelitarnym do uzupełnienia danych na obszarach z dużym zachmurzeniem, kiedy, jak już wspomniano, satelita nie „widzi” powierzchni morza.

Wobec ciągłych zmian zachodzących w badanym środowisku satelitarne metody pozyskiwania danych o ekosystemach morskich i wykorzystywane do tego urządzenia, jak również modele i formuły obliczeniowe, wymagają systematycznej kalibracji, okresowego sprawdzenia poprawności i korygowania dokładności wyznaczanych parametrów. W tym celu wykorzystuje się zwykle wyniki bezpośrednich, testowych pomiarów środowiskowych, prowadzonych za pomocą precyzyjnej aparatury pomiarowej i analitycznej instalowanej na statkach, autonomicznych bojach pomiarowych i na stacjach brzegowych. Taki zestaw pracujących urządzeń stanowi nierozłączną część systemu satelitarnego monitoringu środowiska morskiego.

Rozdział 2

System SatBałtyk

Działanie Systemu SatBałtyk opiera się na rozproszonej, nowoczesnej i różnorodnej infrastrukturze badawczej, która gromadzi i przetwarza dane środowiskowe, wykorzystując do tego najnowsze osiągnięcia nauki i techniki. Podstawy teoretyczne tego prezentowanego poniżej systemu zostały opracowane przez współpracujących od wielu lat zespół polskich naukowców i specjalistów z szeregu instytucji reprezentujących różne obszary wiedzy. Skompletowanie, w oparciu o doświadczenie i wiedzę, odpowiednich urządzeń pomiarowych i bazy technicznej, przygotowanie systemu do pracy operacyjnej i wdrożenie go jest rezultatem końcowym projektu realizowanego w latach 2010–2015 przez Konsorcjum SatBałtyk. Poniżej przedstawiony został skrócony opis idei działania tego Systemu oraz jego najważniejszych elementów.

2.1. Jak powstał System SatBałtyk?

Jak już wspomniano wcześniej (patrz rozdz. 1.2) satelitarne techniki monitorowania środowiska Bałtyku opierają się głównie na optycznych i zdalnych metodach badania ekosystemów morskich. Początek badań stanowiących naukowe podstawy tych metod w Polsce datujemy na lata 60. XX wieku, kiedy to w Instytucie Polskiej Akademii Nauk w Sopocie zaczęła rozwijać się optyka morza. Początkowo były to badania optycznych właściwości składników wody morskiej, ich wpływu na widoczność podwodną i strukturę podwodnego pola światła¹. Zaowocowały one z jednej strony znaczącym rozwojem modelowania biooptycznego zjawisk zachodzących w morzu, a z drugiej opracowaniem zdalnych optycznych metod badań funkcjonowania ekosystemów w morzu, szczególnie tych opartych na obserwacjach satelitarnych.

¹Więcej informacji dotyczących naukowych podstaw oraz organizacji i sposobu działania Systemu SatBałtyk znajdzie Czytelnik w pracach wymienionych w spisie proponowanej literatury uzupełniającej.

Ścisła współpraca między zespołami badawczymi polskich placówek badawczych, będącymi prekursorami badań Bałtyku metodami teledetekcji satelitarnej w naszym kraju, została nawiązana w XXI wieku. Zaowocowało to opracowaniem pierwszej wersji algorytmu DESAMBEM². Algorytm ten jest zbiorem szeregu szczegółowych modeli różnych zjawisk fizycznych, chemicznych i biologicznych zachodzących w toni wodnej Bałtyku, a także w atmosferze nadbałtyckiej. Stanowi on naukową podstawę określania wielu parametrów charakteryzujących stan i funkcjonowanie ekosystemu Bałtyku z wykorzystaniem dostępnych danych satelitarnych. Ocena dokładności określania tych parametrów na podstawie danych satelitarnych z pomocą algorytmu DESAMBEM pokazała, że jest ona bardzo zbliżona lub tylko niewiele mniejsza od dokładności bezpośrednich pomiarów tych wielkości w morzu. Oceny tej dokonano na podstawie porównań danych z pomiarów satelitarnych z danymi z licznych pomiarów i badań przeprowadzanych bezpośrednio w morzu *in situ*. Uzyskana dokładność estymacji wskazuje na celowość wykorzystania metod satelitarnych do monitorowania środowiska Bałtyku, co pozwala na zwiększenie efektywności oraz zmniejszenie kosztów tego monitorowania w stosunku do kosztów posługiwania się w tym celu metodami tradycyjnej oceanografii. Wdrożenie i wykorzystanie w praktyce algorytmu DESAMBEM do sprawnego i systematycznego monitorowania stanu i prognozowania przemian środowiska Bałtyku to główny cel wspomnianego już wcześniej projektu SatBałtyk. Warto jednak pamiętać, że jego główny rezultat – prezentowany w tej broszurze System SatBałtyk mógł powstać jedynie dzięki wykorzystaniu wyników wieloletnich, kompleksowych badań środowiska Bałtyku, przeprowadzanych przez zespoły naukowe wielu morskich instytutów badawczych w ramach badań statutowych, sieci naukowych i projektów badawczych. Duże koszty tej wieloletniej pracy, poniesione przez budżet Państwa i Unię Europejską, powinny zostać w pełni wykorzystane dla pożytku społecznego. Wymaga to wdrożenia Systemu SatBałtyk do praktyki i szerokiego udostępnienia jego produktów instytucjom i osobom zainteresowanym.

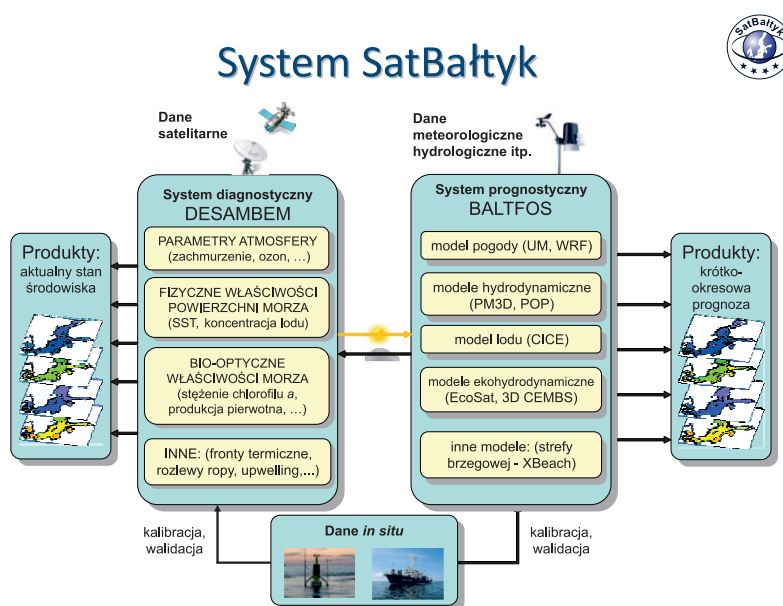
²Algorytm DESAMBEM (DEvelopment of a SATellite Method for Baltic Ecosystem Monitoring) powstał w latach 2001–2005 w wyniku realizacji przez Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk we współpracy z Instytutem Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego, Instytutem Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku i Morskim Instytutem Rybackim zamówionego przez Komitet Badań Naukowych projektu pt.: *Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku* (projekt nr PBZ-KBN 056/P04/2001).

2.2. Jak działa System SatBałtyk?

System SatBałtyk tworzą urządzenia pomiarowe, serwery obliczeniowe, bazy danych oceanograficznych, modele matematyczne (diagnostyczne i prognostyczne) oraz procedury. Współdziałanie tych wszystkich elementów umożliwia rutynowe pozyskiwanie kilkudziesięciu różnych charakterystyk środowiska Morza Bałtyckiego prezentowanych w serwisie internetowym w formie map, na których za pomocą kolorów przedstawione są rozkłady ich wartości na całym obszarze Bałtyku. Ponadto System umożliwia odczyt wartości liczbowych tych charakterystyk w dowolnym miejscu mapy oraz przedstawienie w formie wykresów zmian ich wartości w czasie. Charakterystyki te, takie jak temperatura wody, prędkość prądu (tj. kierunek i tempo przepływu wody), stężenie tlenu w wodzie i wiele, wiele innych wymienionych w Aneksie 1 nazywamy charakterystykami bądź parametrami stanu środowiska (lub krótko parametrami). Naukową podstawą Systemu SatBałtyk jest opracowany i ciągle doskonalony zbiór modeli pozwalających na wyznaczanie funkcjonalnych i strukturalnych charakterystyk ekosystemu Morza Bałtyckiego na podstawie sygnałów rejestrowanych przez czujniki znajdujące się na satelitach. System wykorzystuje dane z kilkunastu satelitów obserwujących systematycznie obszar Bałtyku oraz dane rejestrowane przez urządzenia pomiarowe zainstalowane na autonomicznych bojach pomiarowych, statkach badawczych, stacjach brzegowych i w laboratoriach współdziałających instytutów naukowych.

Wiele modeli i algorytmów niezbędnych w satelitarnej teledetekcji środowiska morskiego opracowanych jest i wykorzystywanych od dawna, głównie przez agencje i organizacje dysponujące własnymi satelitami. Te algorytmy są jednak opracowane przeważnie tylko do otwartych wód oceanicznych, o niezbyt złożonym i dobrze poznanym składzie chemicznym i biologicznym. W tych relatywnie czystych wodach głównym absorbentem widzialnego światła i czynnikiem, który wpływa na modyfikację sygnałów świetlnych odbieranych przez satelity, jest fitoplankton oraz produkty jego metabolizmu i rozpadu. Stosunkowo zatem łatwo, na podstawie optycznych charakterystyk sygnałów świetlnych odbieranych przez satelity, określać można dla tych wód stężenia fitoplanktonu (chlorofilu *a* i innych jego pigmentów), szybkość produkcji materii organicznej w procesie fotosyntezy oraz stężenia różnych substancji chemicznych występujących w oceanie i inne charakterystyki tego oceanicznego środowiska. Wody Morza Bałtyckiego są nieporównanie bardziej złożone od wód oceanicznych i tutaj te same modele i algorytmy stają się nieprzydatne, a próby ich wykorzystania dla Bałtyku prowadzą często do całkowicie błędnych wyników.

Wody Bałtyku są nie tylko dużo słabiej zasolone i dużo mniej przezroczyste dla światła, ale i charakteryzują się niezwykle złożonym składem rozpuszczonych i zawieszonych substancji chemicznych. Wynika to z dopływu do Bałtyku wielu dużych, zanieczyszczonych rzek, mniejszych cieków i licznych strumieni o nie do końca zidentyfikowanym składzie chemicznym wód. Między innymi wnoszenie przez nie do Bałtyku dużych ilości azotanów, fosforanów i innych substancji odżywczych (biogenicznych) z pól uprawnych i innych źródeł powoduje nadmierne przyrosty wielu gatunków fitoplanktonu, w tym często toksycznych cyjanobakterii. Z wodami rzecznyymi i innymi ciekami dopływają też do Bałtyku liczne komunalne, rolnicze i inne odpady organiczne, rozpuszczone i w zawiesinie, które radykalnie modyfikują przepływ światła, w tym wychodzące z tego morza sygnały odbierane przez satelity (patrz rozdz. 1.2). Powoduje to konieczność stosowania dla Bałtyku specyficznych, dużo bardziej skomplikowanych niż dla oceanu, matematycznych modeli i algorytmów do satelitarnej teledetekcji środowiska tego Morza. Tak więc dla Bałtyku, jak już wspomniano w po-



Rys. 2.1. Uproszczony schemat blokowy części obliczeniowej Systemu SatBałtyk. Dla przejrzystości rysunku w obu blokach wymienionych jest tylko po kilka charakterystyk (wybranych spośród wielu), które wyznaczone są z pomocą algorytmów tego bloku

przednim podrozdziale, odpowiednie modele i algorytmy opracowane zostały dopiero w wyniku ponad 20-letnich badań prowadzonych przez zespoły naukowe instytutów, które aktualnie tworzą Konsorcjum SatBałtyk i które zbudowały opisywany tu System Satelitarnego Monitorowania Środowiska Bałtyku.

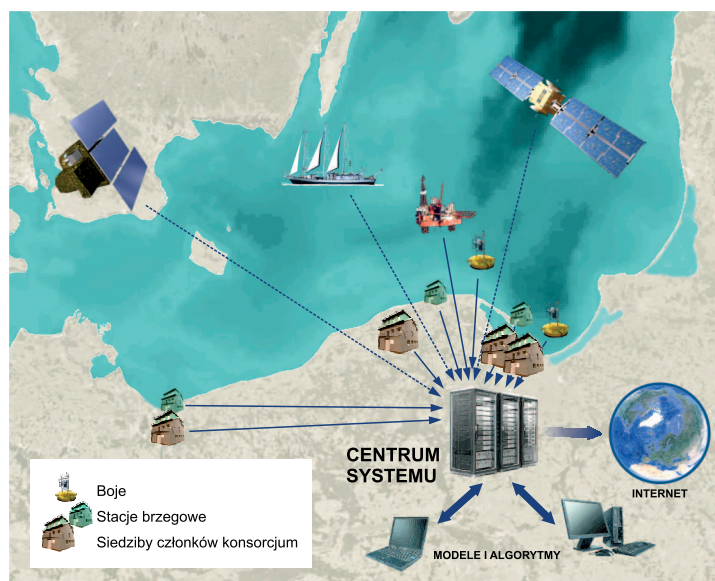
Złożony zbiór modeli Systemu SatBałtyk podzielić można na dwa bloki, czy też podsystemy, schematycznie przedstawione na Rys. 2.1. Są to: Blok 1 zawierający zbiór modeli diagnostycznych umożliwiających wyznaczanie wielu charakterystyk środowiska Bałtyku bezpośrednio z danych satelitarnych, nazwany ogólnie Systemem Diagnostycznym DESAMBEM, i Blok 2 nazwany Systemem Prognostycznym BALTFOS³. Blok BALTFOS, zawierający zbiór modeli prognostycznych, umożliwia nie tylko wyznaczanie bieżących charakterystyk środowiska w miejscach, gdzie chmury uniemożliwiają dopływ sygnałów od morza do satelity, ale również ich kilkudniowych prognoz.

Charakterystyki środowiska wyznaczone za pomocą systemów diagnostycznych i prognostycznych uzupełniają się wzajemnie: BALTFOS wypełnia luki w mapach charakterystyk wyznaczanych za pomocą DESAMBEM (np. w miejscach zachmurzonych), a DESAMBEM zapewnia dane do modeli BALTFOS, umożliwiając tym samym bieżące korygowanie wyników modeli prognostycznych. Procedurę przyswajania wartości pomiarowych w modelach prognostycznych nazywa się asymilacją danych. W rezultacie jej stosowania wartości charakterystyk wyznaczonych za pomocą matematycznych modeli są częściowo zdeterminowane bieżącymi wynikami pomiarów, a częściowo będącymi podstawą tych modeli prawami przyrody. Można więc takie zastosowanie modeli uznać za inteligentną metodę interpolacji danych obserwacyjnych. Pozwala to uzupełniać diagnozę stanu środowiska morskiego w rejonach czasowo „niewidocznych” dla satelity. Ciągła asymilacja danych z pomiarów znacząco zwiększa wiarygodność modeli oraz obliczanych przez nie krótkookresowych prognoz. Do pełnych, profesjonalnych opisów tych modeli odsyłamy zainteresowanych czytelników do pozycji literaturowych wymienionych w rozdziale „Literatura pomocnicza”. Złożoność i rozmiary tego rodzaju opisów wykraczają bowiem znacznie poza założone ramy objętości tekstu tej broszury i przystępności jej treści.

³BALTFOS – skrót od angielskich słów: Baltic Forecasting (Prognozowanie Bałtyku).

2.3. Gdzie zainstalowane są urządzenia tworzące system SatBałtyk?

Jak już wspomniano System SatBałtyk wykorzystuje wiele satelitów obserwujących Bałtyk z przestrzeni kosmicznej, szereg różnych urządzeń badawczych zainstalowanych na statkach, bojach i w stacjach badawczych i serwery obsługujące skomplikowane modele matematyczne. Jego uproszczony schemat organizacyjny przedstawiony jest na Rys. 2.2. Z wyjątkiem satelitów liczne urządzenia i modele Systemu pracują w zsynchronizowany sposób w instytutach naukowych Sopotu, Gdyni, Słupska i Szczecina oraz na stacjach brzegowych (w Helu, Gaci i Międzyzdrojach), na statkach badawczych (głównie *Oceanii* i *Oceanografie 2*), na platformie wiertniczej Baltic Beta i na dwóch autonomicznych bojach pomiarowych w morzu. Obecnie centrum tego Systemu znajduje się w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, gdzie spływają dane z satelitów i pozostałych urządzeń pomiarowych. Centrum to synchronizuje pracę obu omówionych wyżej zespołów obliczeniowych (tzn. DESAMBEM i BALTFOS) oraz rozmieszczonych w różnych miejscach elementów Systemu SatBałtyk. Operacyjność całego Systemu opiera się na ciągłej, bieżącej wymianie informacji pomiędzy poszczególnymi elementami, za których pracę odpowiadają poszczególni członkowie Konsorcjum SatBałtyk (tzn. Uniwersytet Gdański,



Rys. 2.2. Schemat poglądowy operacyjnego Systemu SatBałtyk

Akademia Pomorska i Uniwersytet Szczeciński). Można więc stwierdzić, że System SatBałtyk znajduje się w każdej z tych instytucji.

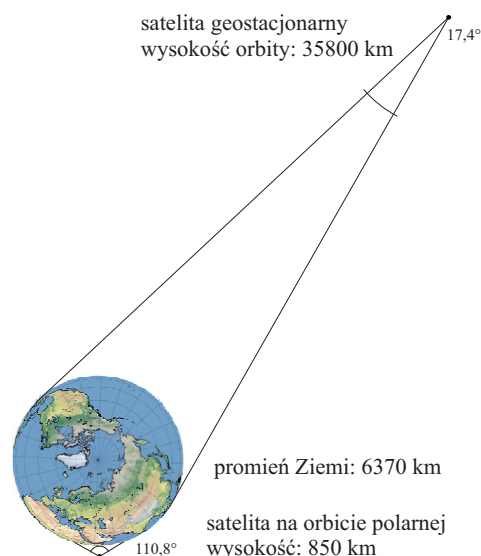
Jak już wspomniano, Rys. 2.2 przedstawia bardzo poglądowo schemat organizacyjny działania Systemu SatBałtyk. Każdy z widocznych na rysunku „elementów składowych” stanowi odrębną całość i wart jest szczegółowego omówienia. W tym opracowaniu nie ma miejsca na tak obszerne przedstawienie całej infrastruktury naukowej gwarantującej sprawne działanie Systemu SatBałtyk. Warto jednak choćby pokrótce poznać jej najbardziej interesujące elementy.

2.4. Jakie satelity wykorzystywane są w systemie SatBałtyk?

System SatBałtyk wykorzystuje dane pomiarowe z ponad dwudziestu urządzeń pracujących na pokładach kilkunastu satelitów obserwujących obszar Morza Bałtyckiego. Warunki tej obserwacji w dużym stopniu zależą od parametrów orbit, po których poruszają się satelity mające na swych pokładach urządzenia do obserwacji Ziemi. Najogólniej rzecz ujmując, są to dwa rodzaje orbit: tzw. orbity geostacjonarne, które umożliwiają obserwację powierzchni Ziemi z dużą rozdzielczością czasową (np. co 15 minut) z wysokości ok. 36 tys. km, oraz orbity okołopolarne, heliosynchroniczne, pozwalające na obserwację całej kuli ziemskiej w zbliżonym momencie czasu lokalnego, z wysokości ok. 700–900 km (Rys. 2.3). W przypadku tych pierwszych poza polem obserwacji pozostają obszary wokół biegunów Ziemi, praktycznie te powyżej 66 stopnia szerokości geograficznej. W przypadku tych drugich orbit, okołoziemskich, jeden satelita może obserwować dane miejsce na Ziemi w najlepszym przypadku kilka razy na dobę. Liczba satelitów, ich wyposażenie i funkcje jakie pełnią ulegają zmianom w przeciągu lat i bywa, że niektóre z nich są okresowo wykorzystywane bardziej lub mniej systematycznie.

W pierwszej tabeli Aneksu 2 przedstawiamy skróty nazw tych satelitów (kolumna 2) i nazw pracujących na ich pokładach radiometrów i innych urządzeń pomiarowych (kolumna 1), rok wprowadzenia do eksploatacji (kolumna 3), skrótowe wyjaśnienie do jakich charakterystyk środowiska są wykorzystywane (kolumna 4) i jak lub od kogo otrzymujemy z nich dane pomiarowe (kolumna 5). Dalej, w kolejnej tabeli przedstawiamy w podobny sposób satelity z urządzeniami wysokiej rozdzielczości, działające aktualnie oraz przewidziane do wykorzystania w najbliższych latach.

Dane satelitarne rejestrowane są przez stacje odbioru, będące na wyposażeniu Systemu SatBałtyk, lub udostępniane są drogą elektroniczną przez instytucje będące właścicielami i nadzorujące działanie oraz wykorzystanie



Rys. 2.3. Warunki obserwacji z orbit geostacjonarnych i okołopolarnych

satelit. Są to, na przykład: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA), National Aeronautics and Space Administration (NASA, USA), European Space Agency (ESA, UE), European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) i inne, wymienione w Aneksie 2. Bliższe opisy tych wszystkich satelitów i charakterystyki ich urządzeń pomiarowych są zwykle prezentowane na stronach internetowych ich właścicieli i tam można zapoznać się z nimi bliżej.

2.5. Jaką rolę w systemie SatBałtyk pełnią pomiary *in situ* („podsatelitarne”)?

Wiarygodność informacji uzyskanej na podstawie obserwacji z poziomu satelitarne powinno być potwierdzona danymi otrzymanymi w sposób tradycyjny, z bezpośrednich pomiarów w środowisku (*in situ*). Co więcej, wspomniana już częsta zmiana urządzeń pomiarowych pracujących na pokładach satelitów, wynikająca z bardzo szybkiego rozwoju techniki satelitarnej, wymaga praktycznie ciągłej ich kalibracji, a następnie oceny dokładności uzyskiwanych wyników przy wykorzystaniu nowo wykalibrowanych algorytmów. Do tego celu w Systemie SatBałtyk wykorzystuje się specjalnie stworzoną infrastrukturę pomiarową złożoną z różnych urządzeń „podsatelitarnych”. Obejmuje ona boje i platformy pomiarowe, stacje terenowe i laboratoria specjalistyczne wyposażone w wysokiej jakości aparaturę pomiarową. Ponadto wspomagana jest ona okresowo wykorzystywaniem do tego celu statków badawczych instytucji tworzących Konsorcjum SatBałtyk.

Ciągłą informację o podstawowych parametrach, określających stan atmosfery w rejonie południowego Bałtyku, zapewniają stacje brzegowe umieszczone w Międzyzdrojach (Rys. 2.4), w Gaci (Rys. 2.5) i w Helu (Rys. 2.6) oraz stacja na platformie Baltic Beta (należącej do Spółki LOTOS PetroBaltic SA) (Rys. 2.7). Tymi parametrami są: temperatura i wilgotność powietrza, prędkość i kierunek wiatru oraz ciśnienie atmosferyczne. Ponadto wykonuje się tam bezpośrednie, „punktowe” pomiary szeregu parametrów określanych dla całego Bałtyku techniką satelitarną w ramach Systemu Sat-Bałtyk (np. charakterystyki promieniowania słonecznego). Istotnym atutem tych stacji pomiarowych jest możliwość zapewnienia ciągłości pomiarów, natomiast minusem (z wyjątkiem pomiarów wykonywanych na platformie Baltic Beta) wpływ otoczenia lądowego na mierzone wartości.



Rys. 2.5. Widok urządzeń Stacji Brzegowej w Gaci

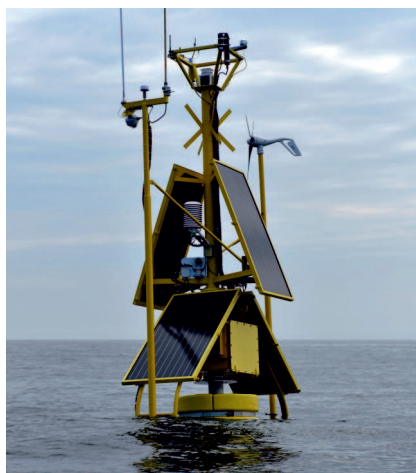
Rys. 2.4. Czujniki pomiarowe i kamera zainstalowane na Stacji Morskiej w Międzyzdrojach

W pewnym sensie najcenniejszych danych „podsatelitarnych” o środowisku morskim dostarczają autonomiczne boje pomiarowe. Przede wszystkim dlatego, że liczba mierzonych wielkości w stosunku do stacji brzegowych może być rozszerzona o parametry mierzone w wodzie. Podczas tworzenia Systemu SatBałtyk wykorzystywano dwie takie boje: nowo zbudowaną „SatBałtyk 1” (Rys. 2.8) zakotwiczoną w Zatoce Gdańskiej oraz „SatBałtyk 2” (Rys. 2.9), która dostarczyła informacji w latach 2013 i 2014 z Ławicy Słupskiej i z okolic Lubiętowa.

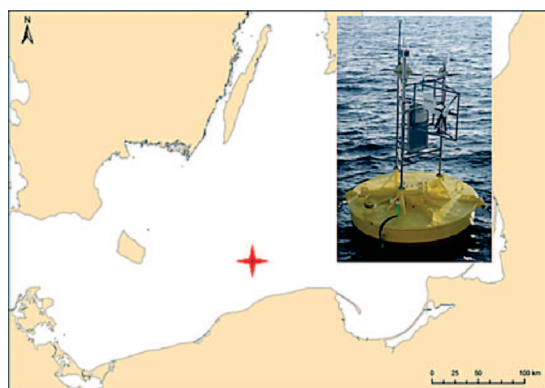
Boje te są bardzo złożonymi urządzeniami ze specyficzną konstrukcją i wyposażeniem. Ponadto muszą one być odporne na działanie wielu czynników żywiołu morskiego. Te czynniki to ciśnienie wody, napór fal



Rys. 2.6. Stacja meteo w Helu

Rys. 2.7. Platforma Baltic Beta
($18^{\circ}10'44.7''\text{E}$, $55^{\circ}28'50.9''\text{N}$)Rys. 2.8. Boja pomiarowa SatBałtyk 1
zakotwiczona w Zatoce Gdańskiej

i prądów, korodujące działanie słonej wody morskiej i obrastanie przez organizmy morskie. Wyposażenie tych boi to między innymi szereg czujników do pomiarów nad i pod powierzchnią wody, systemy do transmisji danych pomiarowych oraz baterie zasilające aparaturę. Dla przykładu boja SatBałtyk 1, skonstruowana i zbudowana specjalnie do kontrolnych pomiarów „podsatelitarnych”, wyposażona jest w liczne mierniki, takie jak stacja meteorologiczna wraz z czujnikami natężenia promieniowania



Rys. 2.9. Boja pomiarowa zakotwiczona w Rynnie Słupskiej

Rys. 2.10. Łódź motorowa *Sonda 2* zakupiona dla projektu SatBałtyk w 2013 r.

słonecznego, i liczne czujniki mierzące parametry fizyczne, chemiczne i jakość wody morskiej oraz dopływ energii promieniowania na głębokościach 1 m i 5 m. Jest to w sumie ok. 20 najwyższej klasy urządzeń pomiarowych.

Główną przyczyną wysokich kosztów utrzymania w morzu w trybie operacyjnym tego typu urządzeń jest konieczność dostosowania aparatury badawczej do trudnych warunków środowiskowych oraz związany z tym skrócony czas jej eksploatacji. Jednak kilkumiesięczne bądź nawet kilkutygodniowe serie kompleksowych pomiarów „podsatelitarnych” przeprowadzonych za pomocą takich boi pomiarowych są bezcenne dla zapewnienia odpowiedniej poprawności algorytmów satelitarnego monitoringu środowiska Bałtyku w Systemie SatBałtyk.



Rys. 2.11. Statek badawczy Instytutu Oceanologii PAN r/v *Oceania*, zbudowany w Stoczni Gdańskiej w 1985 r. i gruntownie zmodernizowany w 2012 r.



Rys. 2.12. Statek badawczy Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego k/h *Oceanograf 2*, zbudowany w 1977 r. i zmodernizowany w 2011 r.

Te boje pomiarowe wymagają nadzoru, częstej kontroli w miejscu zakotwiczenia, oczyszczenia czujników optycznych itp. W Systemie SatBałtyk specjalnie do tego celu została zakupiona jednostka pływająca *Sonda 2* (Rys. 2.10). Jest ona również wykorzystywana do pomiarów i pobierania

próbek morskich w przypadkach wymagających szybkich dodatkowych weryfikacji pomiarów satelitarnych.

Uzupełnieniem danych, zebranych *in situ* przez czujniki pracujące na przedstawionych urządzeniach, są pomiary wykonywane z pokładów statków badawczych w różnych miejscach Morza Bałtyckiego, w tym tych o szczególnym znaczeniu dla różnych procesów w nim zachodzących, np. w obszarze częstego występowania prądów wstępujących (upwellingów) czy strefach rozplywów wód lądowych. W ramach Systemu SatBałtyk takie pomiary wykonywane są obecnie z pokładu statku badawczego r/v *Oceania* (Rys. 2.11), którego rejon pływania dla potrzeb Systemu SatBałtyk obejmuje całe Morze Bałtyckie, oraz z pokładu k/h *Oceanograf 2*, który odbywa rejsy badawcze głównie w rejonie Zatoki Gdańskiej (Rys. 2.12).

Rozdział 3

Charakterystyki środowiska Bałtyku wyznaczone przez System SatBałtyk

Przestrzeganie wymogów obowiązujących regulacji prawnych oraz prowadzenie przemyślanej i dobrze udokumentowanej polityki morskiej Państwa wymaga wsparcia przez kompleksowe, bieżące diagnozy stanów środowiska Morza Bałtyckiego, oparte o wyniki kompleksowego monitorowania tego Morza. Takich kompleksowych informacji dostarczać może, w sposób ciągły dla całego obszaru Bałtyku, nowo zbudowany i opisany tu satelitarny system monitoringu SatBałtyk. W Systemie tym wyznaczone są i szeroko udostępniane w serwisie internetowym liczne charakterystyki środowiska całego rejonu Bałtyku i atmosfery nadbałtyckiej. Główną formą prezentacji tych charakterystyk (parametrów stanu środowiska) są mapy Bałtyku, z naniesionymi na nie rozkładami ich wartości, obejmujące cały Bałtyk. Są one produkowane na bieżąco, raz na dobę lub częściej dla niektórych parametrów. W Systemie prezentowane są również dane pomiarowe pozyskiwane bezpośrednio w środowisku (*in situ*). Mamy nadzieję, że te bieżące i historyczne informacje o ekosystemie Morza Bałtyckiego, zgromadzone i udostępniane w Systemie SatBałtyk, okażą się nie tylko pomocne, ale wręcz niezbędne w pracy wszystkim, którzy zawodowo związani są z ochroną i eksploatacją naszego Morza. Poniżej przedstawione są przykłady informacji dostarczanych przez System SatBałtyk.

3.1. Jakie informacje o Morzu Bałtyckim prezentowane są w Systemie SatBałtyk?

Większość charakterystyk (parametrów) stanu środowiska to na ogół mierzalne, podawane w określonych jednostkach miary, wielkości fizyczne, che-

miczne i inne, jak np. temperatura w stopniach Celsjusza [$^{\circ}\text{C}$], prędkość prądu w metrach na sekundę [m s^{-1}], stężenie azotanów w gramach na metr sześcienny wody [g m^{-3}], strumień energii promieniowania w watach na metr kwadratowy powierzchni morza (lub innej powierzchni), na której ten strumień wyznaczamy [W m^{-2}], zasięg strefy eufotycznej w metrach [m], współczynnik absorpcji światła na metr [m^{-1}] i wiele innych. Prawidłowa interpretacja tych parametrów wymaga jednak uściślenia, rodząc na przykład następujące pytania: *temperatura czego, wody czy powietrza? A jeśli wody, to na jakich głębokościach? Jeśli powietrza, to na jakiej wysokości?* itd. To samo dotyczy prędkości prądu – rodzą się pytania: *gdzie, na jakiej głębokości, w jakim kierunku?* I strumienia energii promieniowania – *gdzie i w jakim paśmie długości fal elektromagnetycznych?* Oraz współczynnika absorpcji światła – *przez co? Wodę czy może pigmenty fitoplanktonu? A dla ilu i na jakich długościach fal światła?* itd.

Jak już wspomniano, w Systemie SatBałtyk wyznaczane i prezentowane są mapy rozkładów różnego typu charakterystyk środowiska dla całego rejonu Bałtyku i atmosfery nadbałtyckiej. Część z tych charakterystyk wyznaczana jest nie tylko dla powierzchni morza, ale i na wybranych głębokościach w toni wodnej. Szereg wielkości określanych jest również dla różnych długości fal światła słonecznego. W Aneksie 1 na końcu broszury umieszczony został hasłowy spis dostępnych w Systemie SatBałtyk charakterystyk, zwanych krótko parametrami, natomiast szczegółowy opis i zestawienie wyznaczanych i prezentowanych przez ten System charakterystyk, z podziałem na grupy i podgrupy tematyczne, można znaleźć na stronie internetowej Systemu SatBałtyk. Taki podział pozwala na łatwe odnalezienie informacji interesującej różnych użytkowników. Dla przykładu w grupie „Optyka morza” oprócz szeregu parametrów optycznych, takich jak aktualne wartości absorpcji i osłabiania światła przez wodę morską i jej składniki, czy tych bardziej popularnych, jak zasięg strefy eufotycznej czy głębokość widzialności dysku Secchiego, znajdziemy też szereg parametrów wyznaczonych na podstawie zdalnie mierzonych wielkości optycznych, jak chociażby przypowierzchniowe stężenie chlorofilu *a*, stężenie zawiesiny w wodzie i in. Wybranie z rozwijanej listy odpowiedniego parametru powoduje wyświetlenie mapy jego wartości w głównym oknie serwisu. Nazwa parametru w legendzie tej mapy jest jednocześnie hiperłączem do jego szczegółowego opisu. Dodatkowo zainteresowani specjaliści mogą

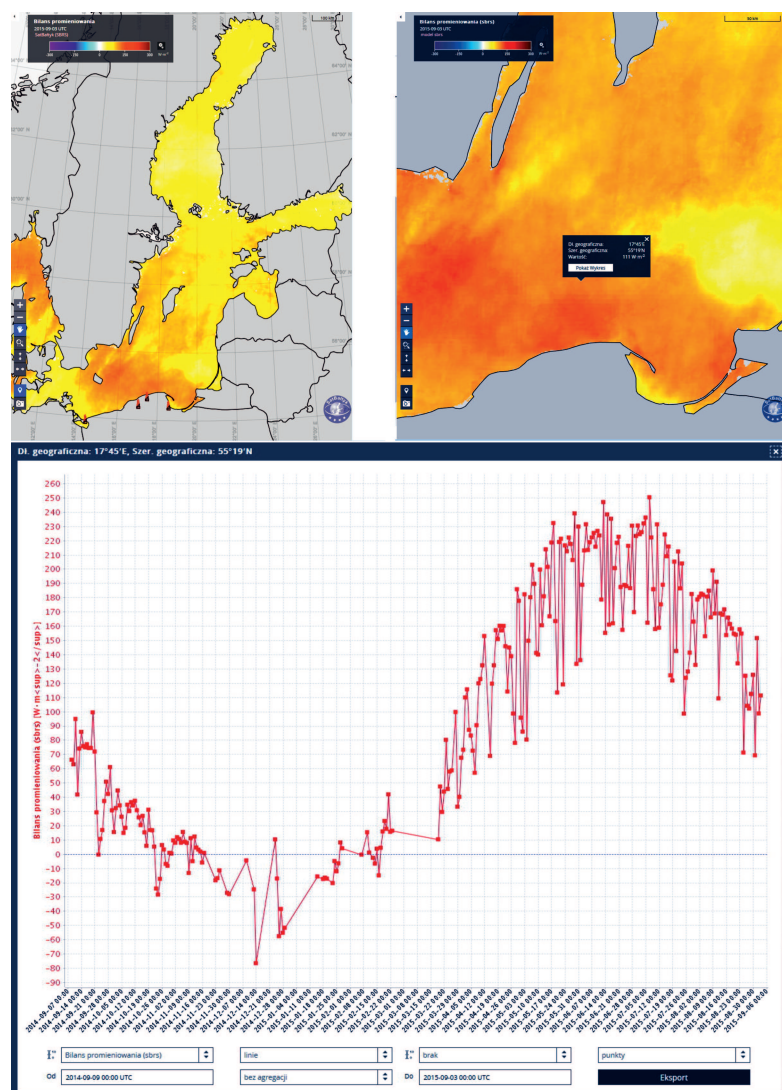
porównywać i wykorzystywać, w zależności od specyficznych potrzeb, wartości tych wielkości wyznaczone na podstawie różnych źródeł czy różnych algorytmów.

Opracowanie takich map, odnoszących się do całego obszaru Morza Bałtyckiego, możliwe jest jedynie dzięki wykorzystaniu technik satelitarnych w połączeniu z wysoce zaawansowanymi modelami matematycznymi. Warto dodać, że mapy te uzupełnione są dodatkowymi informacjami, a System SatBałtyk umożliwia intuicyjne dopasowanie ich wyglądu i zawartości do potrzeb konkretnego użytkownika. Przykład takiej interaktywnej mapy przedstawiony został na Rys. 3.1. Jest to bilans promieniowania radiacyjnego na powierzchni Bałtyku.

Na mapie na Rys. 3.1 widoczne są punkty, dla których dostępne są wartości parametrów wyznaczane na podstawie pomiarów wykonywanych bezpośrednio w środowisku. W Systemie umieszczone są też wyniki „podsatelitarnych” pomiarów empirycznych pochodzących z brzegowych stacji pomiarowych, boi zakotwiczonych w morzu i z pomiarów podczas rejsów statków badawczych. Są one, jak już wspomniano, cennym uzupełnieniem map rozkładów charakterystyk wyznaczanych teoretycznie dla wszystkich punktów całego obszaru morza na podstawie obserwacji satelitarnych. Te „podsatelitarne” pomiary są też wykorzystywane w Systemie SatBałtyk do kalibrowania i weryfikowania modeli matematycznych Systemu, o czym pisaliśmy w rozdz. 2.

W każdym punkcie map udostępnianych w Systemie SatBałtyk można też wyświetlić i odczytać wartości liczbowe monitorowanych i przedstawianych na nich charakterystyk środowiska. Wartości te są jednak uśrednione, najczęściej dla obszaru o powierzchni jednego kilometra kwadratowego. Również zmienność czasową wybranej charakterystyki w dowolnym miejscu można zobrazować na wykresie (Rys. 3.1). Jak widać na tym rysunku, jest też możliwość wyeksportowania plików z interesującymi użytkownika danymi liczbowymi.

Wszystkie dostępne opcje Systemu SatBałtyk opisane zostały w dostępnej w serwisie instrukcji. Można tam także znaleźć wykaz i szczegółowy opis aktualnie prezentowanych w Systemie SatBałtyk funkcjonalnych i strukturalnych charakterystyk środowiska Morza Bałtyckiego. Wykaz ten z upływem czasu ulega zmianom i modyfikacjom, stosownie do zmieniających się potrzeb i możliwości technicznych prowadzenia tego monitoringu.

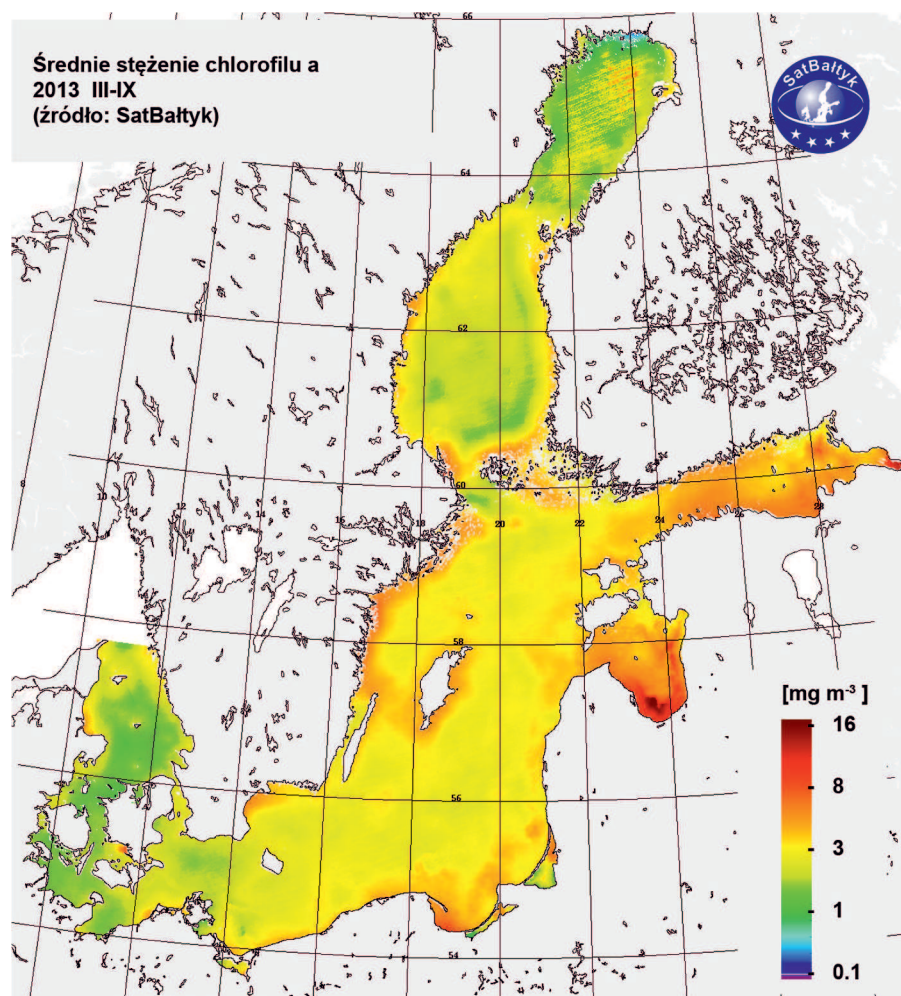


Rys. 3.1. Bilans promieniowania radiacyjnego na powierzchni Bałtyku (przykładowy produkt Systemu SatBałtyk). Poszczególne panele przedstawiają wybrane możliwości obrazowania produktów systemu. W lewym górnym panelu przedstawiona jest mapa rozkładu wartości tego produktu dla obszaru całego Bałtyku w dniu 3 września 2015 r., prawy górny panel przedstawia tę mapę dla tego samego dnia, ograniczoną do wybranego obszaru z wartościami parametru w dowolnie wybranym punkcie. Dolny panel przedstawia wykres czasowej (na rysunku – rocznej) zmienności bilansu promieniowania radiacyjnego dla jednego z wybranych punktów

3.2. Jakie strategiczne informacje zapewnia System SatBałtyk?

Wśród charakterystyk opisujących stan i funkcjonowanie środowiska Morza Bałtyckiego wyznaczanych i prezentowanych w Systemie SatBałtyk znajdują się takie, których monitorowanie jest lub będzie konieczne ze względu na obowiązujące regulacje prawne i rekomendacje. Wymienić tu trzeba przede wszystkim Dyrektywę Wodną Unii Europejskiej – EU Water Framework Directive (WFD), która zawiera wymagania w stosunku do państw członkowskich odnośnie monitorowania parametrów jakości wody. Spośród wielu parametrów biologicznych i chemicznych, niektóre, dzięki temu, że mają silny wpływ na optyczne charakterystyki wody morskiej, mogą być z powodzeniem określane metodami satelitarnymi. Są to między innymi stężenia chlorofilu *a* (i innych pigmentów), a także mętność wody i stężenia zawiesiny w wodzie morskiej. Wszystkie one dostarczane są w trybie operacyjnym przez System SatBałtyk. Dyrektywa wodna obejmuje swoim zasięgiem tylko wody przybrzeżne, zdefiniowane jako obszar morski w granicach 1 mili morskiej od brzegu. Jednak wprowadzona po niej nowa Dyrektywa w Sprawie Strategii Morskiej – EU Marine Strategy Framework Directive (MSFD) rozszerza analogiczne wymagania dotyczące monitorowania jakości wody na wszystkie wody szelfowe wokół Państw Członkowskich UE, co obejmuje także obszar całego Bałtyku. Parametry środowiska morskiego dostarczane przez System SatBałtyk dobrze wpisują się też w konwencje o ochronie środowiska morskiego obszaru północnoatlantyckiego (OSPAR), która wytyczyła kierunki monitorowania eutrofizacji wód morskich na obszarach Unii Europejskiej. Wśród proponowanych tam wskaźników część (np. analiza wieloletniej zmienności średniego stężenia chlorofilu *a* w okresie wegetacyjnym, typowo od marca do października) może zostać poprawnie określona tylko dzięki systemowi dostarczającemu dane każdego dnia w analizowanym okresie, np. codziennie dostarczane przez System SatBałtyk mapy stężenia chlorofilu *a* wykorzystane zostały do opracowania mapy średniego stężenia tego pigmentu w okresie wegetacyjnym w roku 2013 (Rys. 3.2).

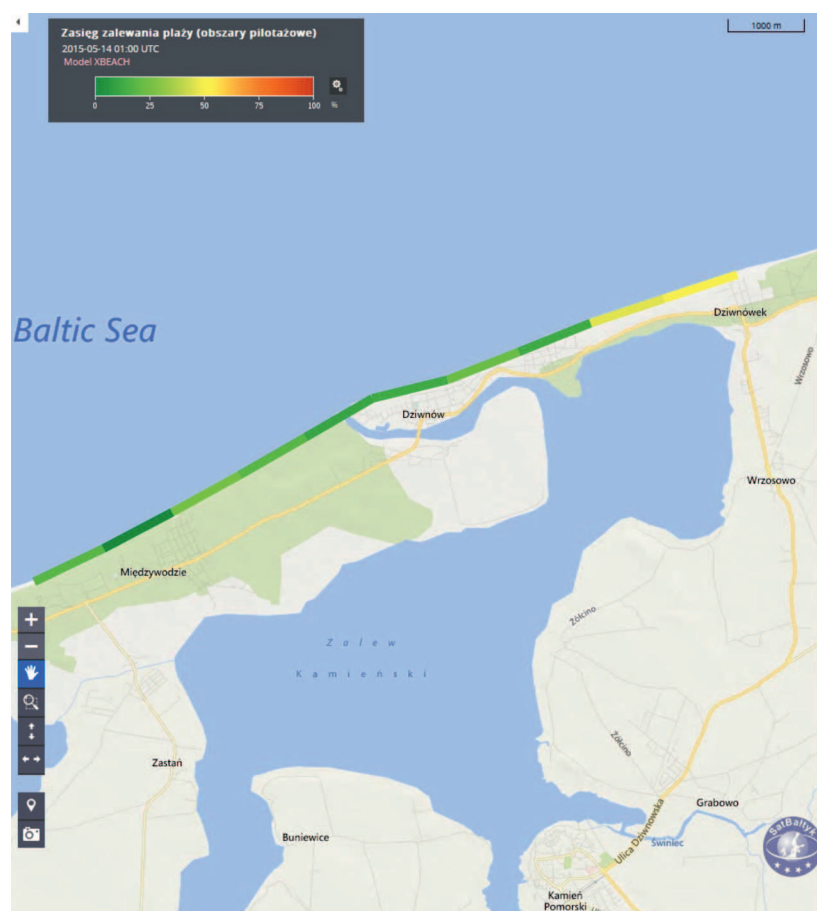
Równie istotną rolę mają charakterystyki prezentowane w grupie „Zagrożenia”. Pojawiają się w niej informacje o zaobserwowanych i zarejestrowanych przez System SatBałtyk aktualnych bądź historycznych zdarzeniach mających istotny wpływ na funkcjonowanie ekosystemu, czy też mogących zagrozić bezpieczeństwu ludzi, środowiska naturalnego czy szeroko pojętej infrastruktury. Wśród tych informacji będzie można znaleźć mapy rozlewów substancji ropopochodnych, prognozy i skutki zdarzeń sztormowych, czy też ostrzeżenia o zakwitach potencjalnie niebezpiecznych glonów (patrz przykład na Rys. 3.3).



Rys. 3.2. Mapa średniego, w okresie wegetacyjnym (od 01 marca do 31 października), przypowierzchniowego stężenia chlorofilu dla całego Bałtyku w 2013 r. wyliczona na podstawie wartości dobowych wyznaczanych w Sytemie SatBałtyk

System SatBałtyk dostarcza także wiele bieżących informacji istotnych dla bezpieczeństwa żeglugi. Jako doskonały tego przykład można potraktować przedstawioną na Rys. 3.4 mapę prądów powierzchniowych, czy też wspomniane już prognozy skutków zdarzeń sztormowych. Takie bieżące, dostępne w czasie rzeczywistym informacje mają też niebagatelne znaczenie w przypadku prowadzenia akcji ratunkowych.

Na koniec tego podrozdziału warto też wspomnieć, że prowadzenie za pomocą Systemu SatBałtyk monitoringu i prognozowania warunków

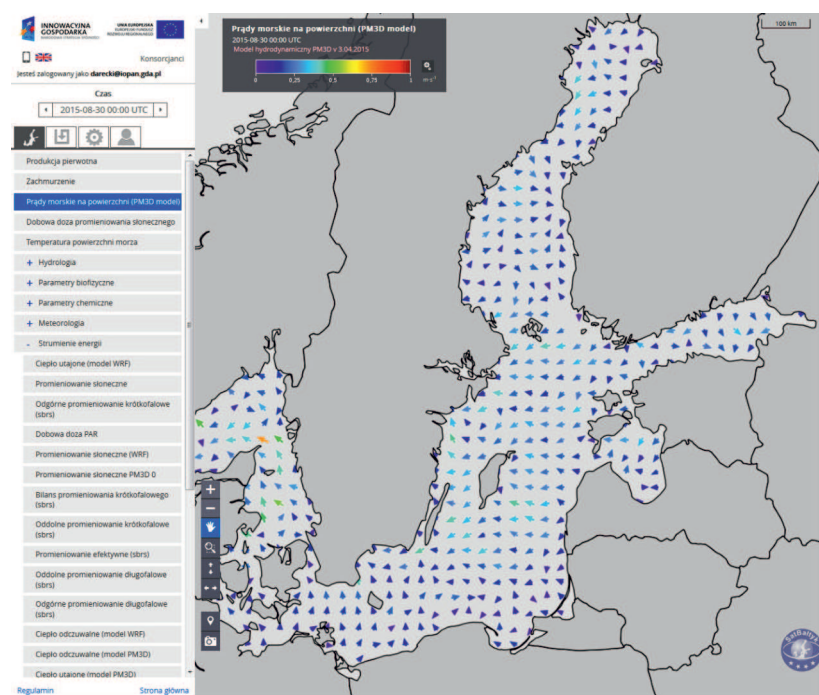


Rys. 3.3. Zasięg zalewania plaży w dniu 14 maja 2015 r. dla obszaru pilotażowego w rejonie Międzyzdrojów. Przedstawiona na rysunku mapa prezentuje też inną niż na wcześniejszych przykładach wizualizację obszarów lądu i linii brzegowej (jeden z tzw. „podkładów mapy” dostępnych w Systemie SatBałtyk)

meteorologicznych i hydrodynamicznych w Morzu Bałtyckim może mieć istotne znaczenie dla szeroko pojętej obronności Kraju.

3.3. Dla kogo przeznaczony jest System SatBałtyk?

Wspomniane wyżej, dostępne w Systemie SatBałtyk charakterystyki środowiska Morza Bałtyckiego zapewnić mogą stały dopływ informacji niezbędnych do zarządzania jego zasobami i wypełnienia zobowiązań związanych



Rys. 3.4. Serwis internetowy Systemu SatBałtyk z mapą prądów powierzchniowych na obszarze całego Bałtyku w dniu 30 sierpnia 2015 r.

z jego monitoringiem. Powinny one znaleźć zastosowanie w urzędach wszystkich szczebli administracji państwowej oraz w podległych im jednostkach zaangażowanych w eksploatację bądź ochronę Bałtyku.

Kolejnym ważnym potencjalnym użytkownikiem Systemu SatBałtyk jest Wojsko Polskie, a w szczególności służby i jednostki specjalne Marynarki Wojennej, które mogą pozyskiwać z niego informacje niezbędne dla planowania i przeprowadzania operacji na morzu.

Szerokie spektrum prezentowanych w Systemie SatBałtyk informacji ma jednak znacznie szersze grono odbiorców, nie tylko instytucjonalnych. Należą do niego naukowcy, nauczyciele bądź po prostu osoby szukające interesujących wiadomości z różnych dziedzin. Oprócz powszechnie znanych charakterystyk oceanograficznych środowiska morskiego (temperatura, zasolenie, prądy) znajdą oni w Systemie SatBałtyk wiele mniej znanych czy popularnych parametrów, na przykład związanych ze światłem słonecznym i promieniowaniem cieplnym, w tym z różnymi pasmami fal elektromagnetycznych. Rola tego promieniowania jest bowiem fundamentalna dla funkcjonowania ekosystemów morskich, a także dla wykorzystania nowoczesnych, satelitarnych technik monitorowania morza. Docierające do powierzchni mo-

rze promieniowanie słoneczne jest olbrzymim i praktycznie jedynym źródłem zasilania biosfery morskiej w energię (poprzez zamianę energii światła w energię substancji organicznych produkowanych w procesie fotosyntezy) podtrzymującą procesy krążenia wody i ciepła na naszym Globie. Z tego powodu w Systemie SatBałtyk monitorowane są różnego rodzaju strumienie energii promieniowania i ich bilanse oraz wielkości optyczne charakteryzujące stopień przezroczystości wody i współczynniki absorpcji, a także osłabiania promieniowania o różnych długościach fal w badanej wodzie. To z kolei pozwala wyznaczać stężenia różnych zawartych w wodzie substancji, warunki widoczności i obrazowania podwodnego.

Rozdział 4

Podsumowanie

Opisany w tej broszurze System SatBałtyk, gotowy do praktycznego wykorzystania w 2015 r., powstał w wyniku realizacji złożonego projektu pod nazwą „Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego”, współfinansowanego przez Unię Europejską. Zrealizowanie tego projektu było możliwe tylko dzięki wykorzystaniu wieloletnich kompleksowych badań naukowych środowiska Bałtyku, przeprowadzonych przez zespoły naukowe wielu morskich instytutów badawczych, w tym bezpośrednio współdziałających w tej sprawie: Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie (IO PAN, koordynator), Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego w Gdyni (IO UG), Instytutu Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku (IF AP) i Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego (INoM US), sfinansowanych z budżetu Państwa i przez Unię Europejską¹. Instytuty te utworzyły **Konsorcjum SatBałtyk**, którego celem było opracowanie i wdrożenie systemu satelitarnego monitorowania licznych charakterystyk środowiska Morza Bałtyckiego, opartego na nowatorskich metodach teledetekcji satelitarnej i rozbudowanych matematycznych modelach procesów zachodzących w środowisku Bałtyku. Złożoność i rozmiary szczegółowego opisu rozwiązań naukowych i technicznych zastosowanych w Systemie SatBałtyk wykraczają znacznie poza założone ramy objętości tekstu tej broszury i przystępności jej treści dla czytelnika niezajmującego się zawodowo techniką satelitarnego monitoringu środowiska morskiego. Proponowane w „Literaturze pomocniczej” pozycje uzupełniają całość tego opisu.

System SatBałtyk może być z powodzeniem wykorzystywany w wielu obszarach szeroko pojętej działalności człowieka związanej ze środowiskiem morskim. Jego funkcjonowanie w sposób ciągły przez kolejne lata zapewnić

¹Przed projektem SatBałtyk finansowane i realizowane były: projekt o nazwie: „Badanie i opracowanie systemu satelitarnej kontroli ekosystemu Bałtyku (2001–2005)” i prace Sieci Naukowej o nazwie: „Międzyinstytutowy Zespół Satelitarnych Obserwacji Środowiska Morskiego (2008).

może niezawodne i pełne źródło niezbędnych do tego informacji. Wiedza o stanach i przemianach środowiska na obszarze całego Bałtyku ma niebagatelne znaczenie i pozwala na kompleksową ocenę działań związanych z eksploatacją czy ochroną tego Morza. Rozbudowana struktura Systemu SatBałtyk została zaprojektowana tak, aby możliwe było pozyskiwanie na bieżąco kilkudziesięciu ważnych charakterystyk ekosystemu Morza Bałtyckiego na całym jego obszarze z dokładnością zbliżoną lub niewiele mniejszą od dokładności punktowych pomiarów tych charakterystyk metodami tradycyjnymi z pokładów statków. Wysoką niezawodność działania i jakość udostępnianych na stronie internetowej map rozkładów monitorowanych charakterystyk środowiska Bałtyku zapewnia wykorzystanie informacji pochodzących z wielu satelitów różnego typu obserwujących to morze i odpowiednio przygotowanych do tego algorytmów. Warto też podkreślić, że prowadzony dotychczas monitoring wybranych parametrów, oparty na tradycyjnych pomiarach środowiskowych *in situ*, może stanowić cenne uzupełnienie monitoringu satelitarnego i pozwoli na weryfikację i dalsze zwiększenie ilości charakterystyk, których mapy prezentowane są w Systemie SatBałtyk.

Zbudowany dużym nakładem sił i środków System SatBałtyk może działać w sposób ciągły, a jego struktura umożliwia bieżące wprowadzanie pojawiających się nowych rozwiązań i innowacyjnych możliwości, jakie stwarza rozwój nauki i idący za tym postęp technologiczny. Praca tego Systemu została w dużym stopniu zautomatyzowana, jednak wymaga on stałego nadzoru i weryfikacji prezentowanych w nim informacji. Warto też pamiętać, że wiele obecnie wykorzystywanych źródeł informacji (np. satelitów, czujników pomiarowych) z różnych, niezależnych od twórców Systemu przyczyn, z czasem zużywa się i będzie musiała być zastąpiona innymi. Stąd pojawi się potrzeba szeregu dodatkowych działań związanych np. z odpowiednią kalibracją i dopasowaniem formatów danych Systemu SatBałtyk do tych nowych urządzeń. Tak więc nie tylko dalszy rozwój, mający na celu zwiększenie dokładności bądź rozszerzenie listy prezentowanych w systemie charakterystyk, ale też działanie tego nowatorskiego rozwiązania wymagać będzie nie tylko niezbędnych do tego funduszy, ale i ciągłej i intensywnej pracy. Zespół naukowców skupiony w Konsorcjum SatBałtyk zamierza podjąć to wyzwanie i kontynuować przez lata pozyskiwanie, gromadzenie i szerokie udostępnianie wszechstronnych informacji o stanie i przemianach środowiska Morza Bałtyckiego.

Literatura pomocnicza

Informacje zawarte w broszurze mogą pozostawić u wnikliwego czytelnika pewien niedosyt. Dlatego poniżej proponujemy zainteresowanym wybór pozycji zawierających bardziej szczegółowy opis poruszanych zagadnień, pozwalający na zrozumienie ich podstaw naukowych. Niektóre z wymienionych prac zawierają obszerny opis zachodzących w ekosystemach morskich procesów i ich wzajemnych powiązań, pozostałe skupiają się na wnikliwych analizach zależności i zjawisk, na których opiera się funkcjonowanie Systemu SatBałtyk.

I tak, będące podstawą teledetekcji satelitarnej, wspomniane w rozdz. 1.2 zależności związane z właściwościami wody morskiej opisujące zmienność strumieni energii rejestrowanych przez satelity opisane są między innymi w pracach:

- 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*, Cont. Shelf Res., 23 (3–4), 237–250.
- Darecki M., Stramski D., 2004, *An evaluation of MODIS and SeaWiFS bio-optical algorithms in the Baltic Sea*, Remote Sens. Environ., 89 (3), 326–350.
- Darecki M., Kaczmarek S., Olszewski J., 2005, *SeaWiFS chlorophyll algorithms for the Southern Baltic*, Int. J. Remote Sens., 26 (2), 247–260.
- Darecki M., Ficek D., Krężel A., Ostrowska M., Majchrowski R., Woźniak S.B., Bradtke K., Dera J., Woźniak B., 2008, *Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM), Part 2: Empirical validation*, Oceanologia, 50 (4), 509–538.
- Dera J., 2003, *Fizyka morza*, wyd. II uaktualnione, Wyd. Nauk. PWN, Warszawa, 541.
- Ficek D., Zapadka T., Dera J., 2011, *Remote sensing reflectance of Pomeranian lakes and the Baltic*, Oceanologia, 53 (4), 959–970.
- Højerslev N. K., 1986, *Optical properties of sea water*, [in:] *Landolt-Bornstein numerical data and functional relationships in science and technology*, Oceanogr. New Ser. 3, Springer-Verlag, Berlin, 386–462.

- Jerlov N. G., 1976, *Marine optics*, Elsevier, Amsterdam, 231.
- Kowalewski M., Krężel A., 2004, *System automatycznego dowiązania geograficznego i korekcji geometrycznej danych AVHRR*, Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji, vol. XIIIb, 397–407.
- Krężel A., 1997, *Identyfikacja mezoskalowych anomalii hydrofizycznych w morzu płytkim metodami szerokopasmowej teledetekcji satelitarnej*, Wyd. UG, Gdańsk, 173 s.
- Majchrowski R., Stoń-Egiert J., Ostrowska M., Woźniak B., Ficek D., Lednicka B., Dera J., 2007, *Remote sensing of vertical phytoplankton pigment distributions in the Baltic: new mathematical expressions. PART 2: Accessory pigment distribution*, Oceanologia, 49 (4), 491–511.
- Morel A., Prieur L., 1977, *Analysis of variations in ocean color*, Limnol. Oceanogr., 22 (4), 709–722.
- Ostrowska M., Majchrowski R., Stoń-Egiert J., Woźniak B., Ficek D., Dera J., 2007, *Remote sensing of vertical phytoplankton pigment distributions in the Baltic: new mathematical expressions. PART 1: Total chlorophyll a distribution*, Oceanologia, 49 (4), 471–489.
- Schaepman-Strub G., Schaepman M. E., Painter T. H., Dangel S., Martonchik J. V., 2006, *Reflectance quantities in optical remote sensing – definitions and case studies*, Remote Sens. Environ., 103 (1), 27–42, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2006.03.002>.
- Woźniak B., Dera J., Semovski S., Hapter R., Ostrowska M., Kaczmarek S., 1995, *Algorithm for estimating primary production in the Baltic by remote sensing*, SIMO, 68 (Marine Physics 8), 91–123.
- Woźniak B., Dera J., 2007, *Light absorption in sea water*, Springer, New York, 452.
- Woźniak B., Majchrowski R., Ostrowska M., Ficek D., Kunicka J., Dera J., 2007, *Remote sensing of vertical phytoplankton pigment distributions in the Baltic: new mathematical expressions. PART 3: Non-photosynthetic pigment absorption factor*, Oceanologia, 49 (4), 513–526.
- Woźniak B., Krężel A., Darecki M., Woźniak S.B., Majchrowski R., Ostrowska M., Kozłowski Ł., Ficek D., Olszewski J., Dera J., 2008, *Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAM-BEM), Part 1: Mathematical apparatus*, Oceanologia, 50 (4), 451–508.
- Zapadka T., Woźniak B., Dera J., 2007, *A more accurate formula for calculating the net longwave radiation flux in the Baltic Sea*, Oceanologia, 49 (4), 449–470.

Wyniki badań i analiz naukowych, które stanowią przedstawione skróto w rozdz. 2.1 teoretyczne podstawy Systemu SatBałtyk zawarte są w publikacjach:

- Bradtke K., Krężel A., 1994, *Inhomogeneity of vertical distributions of suspended matter in the sea – consequences for remote sensing*, Oceanologia, 36 (1), 47–79.
- Darecki M., Kowalczyk P., Krężel A., Sagan S., 1993, *Chlorophyll vs AVHRR satellite data during SKAGEX experiment*, Stud. i Mater. Oceanol., 64, 49–59.
- Darecki M., Kaczmarek S., Olszewski J., 2005, *SeaWiFS chlorophyll algorithms for the Southern Baltic*, Int. J. Remote Sens., 26 (2), 247–260.
- Dera J., 1963a, *A probe for studying the stratification of water masses in the sea*, Acta Geophys. Pol., 11, 179–185, (in Polish).
- Dera J., 1963b, *Some optical properties of the waters of the Gulf of Gdańsk as indices of the structure of its water masses*, Acta Geophys. Pol., 13, 15–39, (in Polish).
- Dera J., 1967, *Measurements of optical quantities characterizing the conditions of photosynthesis in the Gulf of Gdańsk*, Acta Geophys. Pol., 15, 187–208.
- Dera J., 1971, *Irradiance in the euphotic zone of the sea*, Oceanologia, 1, 9–98, (in Polish with English summary).
- Dera J., 1995, *Underwater irradiance as a factor affecting primary production*, Diss. and monogr., Inst. Oceanol. PAS, Sopot, 7, 110.
- Dera J., Olszewski J., 1969, *Widzialność podwodna*, Postępy Fizyki, 20, 473–487, (in Polish).
- Olszewski J., 1973, *An analysis of underwater visibility conditions in the sea, based on the example of the Gulf of Gdańsk*, Oceanologia, 2, 153–225, (in Polish with English summary).
- Olszewski J. (red.), 1995, *Marine physics*, Stud. i Mater. Oceanol., 8, 68, 149.
- Ostrowska M., Majchrowski R., Matorin D.N., Woźniak B., 2000a, *Variability of the specific fluorescence of chlorophyll in the ocean. Part 1. Theory of classical ‘in situ’ chlorophyll fluorometry*, Oceanologia, 42 (2), 203–219.
- Ostrowska M., Matorin D.N., Ficek D., 2000b, *Variability of the specific fluorescence of chlorophyll in the ocean. Part 2. Fluorometric method of chlorophyll a determination*, Oceanologia, 42 (2), 221–229.

- Pelevin V. N., Woźniak B., Koblentz-Mishke O. J., 1991, *Algorithm for estimating primary production in the sea from satellite sensing*, Oceanologia, 31, 57–72.
- Woźniak B., 1973, *An investigation of the influence of the components of seawater on the light field in the sea*, Stud. i Mater. Oceanol., 6, 69–132, (in Polish).
- Woźniak B., Dera J., 2000, *Luminescence and photosynthesis of marine phytoplankton – a brief presentation of new results*, Oceanologia, 42 (2), 137–156.
- Woźniak B., Dera J., Semovski S., Hapter R., Ostrowska M., Kaczmarek S., 1995, *Algorithm for estimating primary production in the Baltic by remote sensing*, Stud. i Mater. Oceanol., 68, 91–123.
- Woźniak B., Dera J., Majchrowski R., Ficek D., Koblentz-Mishke O. I., Darecki M., 1997a, *‘IO PAS initial model’ of marine primary production for remote sensing application*, Oceanologia, 39 (4), 377–395.
- Woźniak B., Dera J., Majchrowski R., Ficek D., Koblentz-Mishke O. I., Darecki M., 1997b, *Statistical relationships between photosynthesis and abiotic conditions in the ocean – the IOPAS initial model for remote sensing application*, Proc. SPIE, 3222, 516–528.
- Woźniak B., Ostrowska M., 1990a, *Composition and resources of photosynthetic pigments of the sea phytoplankton*, Oceanologia, 29, 91–115.
- Woźniak B., Ostrowska M., 1990b, *Optical absorption properties of phytoplankton in various seas*, Oceanologia, 29, 117–146.
- Woźniak B., Pelevin V. N., 1991, *Optical classifications of the seas in relation to phytoplankton characteristics*, Oceanologia, 31, 25–55.

Omawiane w rozdz. 2.2 modele DESAMBEM opisane są między innymi w pracach:

- Darecki M., Ficek D., Krężel A., Ostrowska M., Majchrowski R., Woźniak B., Bradtke K., Dera J., Woźniak B., 2008, *Algorithm for the remote sensing of the Baltic ecosystem (DESAMBEM), Part 2: Empirical validation*, Oceanologia, 50 (4), 509–538.
- Ficek D., Majchrowski R., Ostrowska M., Kaczmarek S., Woźniak B., Dera J., 2003, *Practical applications of the multicomponent marine photosynthesis model (MCM)*, Oceanologia, 45 (3), 395–423.
- Woźniak B., Dera J., Semovski S., Hapter R., Ostrowska M., Kaczmarek S., 1995, *Algorithm for estimating primary production in the Baltic by remote sensing*, SIMO, 68 (Marine Physics 8), 91–123.

- Woźniak B., Dera J., Ficek D., Majchrowski R., Kaczmarek S., Ostrowska M., Koblentz-Mishke O.I., 2000, *Model of the in vivo spectral absorption of algal pigments. Part 1. Mathematical apparatus*, Oceanologia, 42 (2), 177–190.
- Woźniak B., Dera J., Ficek D., Majchrowski R., Ostrowska M., Kaczmarek S., 2003, *Modelling light and photosynthesis in the marine environment*, Oceanologia, 45 (2), 171–245.
- Woźniak B., Krężel A., Darecki M., Woźniak S.B., Majchrowski R., Ostrowska M., Kozłowski Ł., Ficek D., Olszewski J., Dera J., 2008, *Algorithm for the remote sensing of the Baltic ekosystem (DESAM-BEM), Part 1: Mathematical apparatus*, Oceanologia, 50 (4), 451–508.

Z kolei modele systemu BALTFOS – w pracach:

- Blumberg A. F., Mellor G. L., 1987, *A description of the three-dimensional coastal ocean circulation model*, [in:] *Three-dimensional coastal ocean models*, N. Heaps (red.), AGU, 1–16.
- Dzierzbicka-Głowacka L., Jakacki J., Janecki M., Nowicki A., 2013, *Activation of the operational ecohydrodynamic model (3D CEMBS) – the hydrodynamic part*, Oceanologia, 55 (3), 519–541.
- Dzierzbicka-Głowacka L., Janecki M., Nowicki A., Jakacki J., 2013, *Activation of the operational ecohydrodynamic model (3D CEMBS) – the ecosystem module*, Oceanologia, 55 (3), 543–572.
- Dzierzbicka-Głowacka L., Nowicki A., Janecki M., 2014, *The Automatic Monitoring System for 3D-CEMBSv2 in the operational version*, J. Environ. Sci. Eng. Technol., 1 (1–9), Savvy Sci. Publ., ISSN (online), 2311–8741.
- Herman A., Jędrasik J., Kowalewski M., 2011, *Numerical modelling of thermodynamics and dynamics of sea ice in the Baltic Sea*, Ocean Sci., 7, 257–276.
- Konsorcjum Naukowe SatBałtyk, 2014, *Projekt utworzenia i działania Centrum Satelitarnej Kontroli Środowiska Morza Bałtyckiego i innych akwenów; Centrum SatBałtyk*, Wydanie 2, uzupełnione, Wyd. IO PAN, Sopot, 44.
- Kowalewska-Kalkowska H., Kowalewski M., 2006, *Hydrological forecasting in the Oder Estuary using a three-dimensional hydrodynamic model*, Hydrobiologia, 554 (1), 47–55.
- Kowalewski M., Kowalewska-Kalkowska H., 2011, *Performance of operationally calculated hydrodynamic forecasts during storm surges in*

- the Pomeranian Bay and Szczecin Lagoon*, Boreal Environ. Res., 16 (suppl. A), 27–41.
- Kowalewski M., 2002, *An operational hydrodynamic model of the Gulf of Gdańsk*, [in:] *Research works based on the ICM's UMPL numerical weather prediction system results*, B. Jakubiak (red.), Wydaw. ICM, 109–119.
- Kowalewski M., 2005, *The influence of the Hel upwelling (the Baltic Sea) on nutrient concentration and primary production – the results of an ecohydrodynamic model*, Oceanologia, 47 (4), 567–590.
- Kowalewski M., 2015, *The flow of nitrogen into the euphotic zone of the Baltic Proper as a result of the vertical migration of phytoplankton: an analysis of the longterm observations and ecohydrodynamic model simulation*, J. Marine Syst., 145, 53–68.
- Kowalewski M., Nowicki A., Dzierzbicka-Głowacka L., Janecki M., Kałas M., 2015, *Assimilation of satellite SST data in the 3D CEMBS model*, Oceanologia, 57 (1), 17–24, <http://dx.doi.org/10.1016/j.oceano.2014.07.001>.
- Oldakowski B., Kowalewski M., Jędrasik J., Szymelfenig M., 2005, *Ecohydrodynamic Model of the Baltic Sea, Part I: Description of the ProDeMo model*, Oceanologia, 47 (4), 477–516.

Aneks 1

Wybrane charakterystyki środowiska Bałtyku wyznaczone przez System SatBałtyk¹

Charakterystyka	Informacje dodatkowe
Grupa parametrów: ATMOSFERA, METEOROLOGIA	
Temperatura powietrza	1,5 lub 2 m nad powierzchnią
Zachmurzenie	całkowite, piętra niskiego, średniego i wysokiego
Wiatr	prędkość i kierunek 10 m nad powierzchnią
Wilgotność powietrza	względna i właściwa 1,5 lub 2 m nad powierzchnią
Wodny ekwiwalent chmur	scałkowana w kolumnie atmosfery zawartość pary wodnej
Strumienie energii	strumienie promieniowania (słonecznego, fotosyntetycznie czynnego i długofalowego) oraz ciepła odczuwalnego i utajonego
Opad deszczu	konwekcyjny i wielkoskalowy
Opad śniegu	konwekcyjny i wielkoskalowy
Grupa parametrów: HYDROLOGIA	
Poziom morza	wychylenie powierzchni morza względem poziomu średniego
Temperatura powierzchni morza	powierzchniowej warstwy morza
Temperatura wody	na różnych głębokościach
Zasolenie wody	na różnych głębokościach
Prądy morskie	prędkość i kierunek
Lód	zasięg, koncentracja, grubość, prędkość dryfu
Głębokość Secchi'ego	zasięg widzialności dysku Secchi'ego (białej tarczy w świetle dziennym)
Grupa parametrów: OPTYKA MORZA	
Współczynnik osłabiania światła	w przypowierzchniowej warstwie wody, dla różnych długości fal
Współczynnik absorpcji światła	na różnych głębokościach, dla różnych długości fal
Współczynnik rozpraszania światła	w przypowierzchniowej warstwie wody, dla różnych długości fal

¹ W tabeli podano hasłowy spis parametrów. Szczegółowy spis dostępny jest na stronie internetowej Systemu SatBałtyk satbaaltyk.iopan.gda.pl. W miarę pojawiania się nowych potrzeb i ze względów losowych aktualnie dostępny w serwisie Systemu SatBałtyk zestaw parametrów może z upływem czasu ulegać zmianom.

Wybrane charakterystyki środowiska Bałtyku wyznaczone przez System SatBałtyk¹ (*ciąg dalszy*)

Charakterystyka	Informacje dodatkowe
Współczynnik osłabiania oświetlenia z głębokością w morzu	na różnych głębokościach w przedziale spektralnym światła widzialnego (fotosyntetycznie czynnego, 400–700 nm)
Zasięg widzenia w wodzie	w kierunku poziomym w przypowierzchniowej warstwie wody
Zasięg strefy eufotycznej	głębokość do której dociera 1% strumienia światła widzialnego (fotosyntetycznie czynnego) wchodzącego pod powierzchnię morza

Grupa parametrów: BILANS ENERGETYCZNY

Promieniowanie słoneczne	odgórny i oddolny strumień promieniowania krótkofalowego (0.3 μm –4 μm) nad powierzchnią morza; chwilowe, średnie dobowe, dozy
Promieniowanie ciepłe	odgórny i oddolny strumień promieniowania długofalowego (4 μm –100 μm) nad powierzchnią morza; średnie dobowe
Bilans promieniowania	wypadkowe średnie dobowe, nad powierzchnią morza
Reflektancja zdalna	dla różnej długości fal
Energia w fotosyntezie	fotosyntetycznie czynna wchodząca do morza (400–700 nm), pochłonięta przez komórki fitoplanktonu, zamieniona w energię chemiczną materii organicznej
Ciepło utajone	średni dobowy strumień
Ciepło odczuwalne	średni dobowy strumień

Grupa parametrów: SKŁADNIKI WODY MORSKIEJ

Stężenie tlenu rozpuszczonego	w warstwie powierzchniowej
Stężenia soli biogenicznych	azotanów NO_3 fosforanów PO_4 , krzemianów SiO_4 w warstwie powierzchniowej
Stężenia chlorofilu	chlorofilu <i>a</i> , chlorofilu <i>b</i> i chlorofilu <i>c</i> na różnych głębokościach
Stężenia karetonoidów	fotosyntetycznych, fotoprotekcyjnych, na różnych głębokościach
Stężenie fikobilin	na różnych głębokościach
Stężenie zawiesiny	w warstwie powierzchniowej

Grupa parametrów: FITOPLANKTON, FOTOSYNTeza

Wydajności fotosyntezy	maksymalna i w warstwie powierzchniowej
------------------------	---

Wybrane charakterystyki środowiska Bałtyku wyznaczone przez System SatBałtyk¹ (*ciąg dalszy*)

Charakterystyka	Informacje dodatkowe
Tempo fotosyntezy	średnie w ciągu doby w kolumnie wody pod 1 m ² powierzchni morza
Produkcja pierwotna	masa materii organicznej wyprodukowanej w procesie fotosyntezy w kolumnie wody pod 1 m ² powierzchni morza w ciągu doby
Biomasa fitoplanktonu	masa węgla w komórkach fitoplanktonu w warstwie powierzchniowej morza
Energia pochłonięta przez fitoplankton	w ciągu doby w kolumnie wody pod 1 m ² powierzchni morza
Strumień tlenu cząsteczkowego	uwalnianego w ciągu doby w procesie fotosyntezy, w toni wodnej w kolumnie wody pod 1 m ²

Grupa parametrów: STREFA BRZEGOWA

Zasięg zalewania plaży	przez fale sztormowe wzdłuż polskiego wybrzeża
Szerokość suchej plaży	niezalewanej – do podstawy wydmy
Zagrożenie prądami rozrywającymi	potencjalna możliwość pojawienia, odcinki pilotażowe
Erozja wydmy	objętość materiału zabranego w wyniku erozji przez fale sztormowe, odcinki pilotażowe

Grupa parametrów: ZAGROŻENIA

Zagrożenia sztormowe	obszary silnego wiatru
Rozlewy olejowe	obszary potencjalnego występowania substancji ropopochodnych na powierzchni wody
Zalodzenie	zasięg pokrywy lodowej
Zagrożenia brzegu	erozje i zalewanie przez fale sztormowe, prądy rozrywające

Aneks 2

Satelity i zainstalowane na nich urządzenia pomiarowe

Tabela 2.1. Satelity i zainstalowane na nich urządzenia pomiarowe wykorzystywane aktualnie przez System Operacyjny Sat-Bałtyk i przewidywane do wykorzystania w najbliższych latach (objaśnienia skrótów pod tabelą)

Nazwa urządzenia pomiarowego na satelicie	Nazwa satelity	Rok uruchomienia	Charakterystyki środowiska Bałtyku i atmosfery nadbałtyckiej wyznaczone m.in. na podstawie danych z urządzenia wymienionego w kolumnie 1	Jak/od kogo otrzymujemy dane
Urządzenia działające aktualnie				
AVHRR ¹ /3	NOAA ² 16–19	2000 ³	SST ⁴ , AOT ⁵ , indeks zmętnienia wody, zachmurzenie	NOAA, Eumetsat (stacje odbioru HRPT ⁶ UG ⁷ i US ⁸)
	Metop-A	2006	SST, AOT, indeks zmętnienia wody, zachmurzenie,	
	Metop-B	2012	zawartość ozonu w kolumnie atmosfery	
GOME ⁹ -2	Metop-A	2006	zawartość ozonu w kolumnie atmosfery	ESA ¹⁰
	Metop-B	2012		
SEVIRI ¹¹	Meteosat 9	2005	SST, zachmurzenie, para wodna w kolumnie atmosfery	Eumetsat (stacja odbioru UG)
	Meteosat 10	2012		
MODIS ¹²	Terra	1999	stężenie chlorofilu <i>a</i> , SST, właściwości optyczne wody morskiej, para wodna w kolumnie atmosfery	NASA ¹³
	Aqua	2002		
OMI ¹⁴	Aura	2004	zawartość ozonu w kolumnie atmosfery	NASA/GSFC ¹⁵
SBUV ¹⁶ /2 TOVS ¹⁷	NOAA 16-19	2000	zawartość ozonu w kolumnie atmosfery	NOAA/NESDIS ¹⁸
	Metop-A	2006		
	Metop-B	2012		
SSMIS ¹⁹	DMSP ²⁰ / F16-F20	2003 ²¹	para wodna w kolumnie atmosfery	NOAA/NESDIS
SIRAL ²²	Cryosat-2	2010	parametry lodu morskiego	ESA

Tabela 2.1. (*ciąg dalszy*)

Nazwa urządzenie pomiarowego na satelicie	Nazwa satelity	Rok uruchomienia	Charakterystyki środowiska Bałtyku i atmosfery nadbałtyckiej wyznaczone m.in. na podstawie danych z urządzenia wymienionego w kolumnie 1	Jak/od kogo otrzymujemy dane
OSCAT	Oceansat-2	2009	parametry lodu morskiego, pole wiatru przywodnego	NOAA/NESDIS
ASCAT	Metop-A Metop-B	2006 2012	parametry lodu morskiego, pole wiatru przywodnego	NOAA/NESDIS
Altika	SARAL ²³	2013	parametry lodu morskiego	CNES ²⁴
SAR	Sentinel 1A	2014	parametry lodu, pole wiatru przywodnego, parametry falowania, prądy powierzchniowe, rozlewy olejowe	ESA
Urządzenia planowane				
OLCI ²⁵ SLSTR ²⁶	Sentinel 3	2015	stężenie chlorofilu <i>a</i> , SST, właściwości optyczne wody morskiej SST	ESA/Eumetsat
SEVIRI ¹¹	Meteosat 11	2017	zachmurzenie, SST, zawartość pary wodnej w kolumnie atmosfery	Eumetsat (stacja odbioru UG)
FCI ²⁷	Meteosat 12 (MTG)	2020	zachmurzenie, SST, zawartość pary wodnej w kolumnie atmosfery	Eumetsat (stacja odbioru UG)

¹ **A**dvanced **V**ery **H**igh **R**esolution **R**adiometer; ² **N**ational **O**ceanic and **A**tmospheric **A**dministration; ³ od 2000 – NOAA 16, od 2002 – NOAA 17, od 2005 – NOAA 18, od 2009 – NOAA 19; ⁴ **S**ea **S**urface **T**emperature – temperatura powierzchni morza; ⁵ **A**erosol **O**ptical **T**hickness; ⁶ **H**igh **R**esolution **P**icture **T**ransmission; ⁷ Uniwersytet Gdański; ⁸ Uniwersytet Szczeciński; ⁹ **G**lobal **O**zone **M**onitoring **E**xperiment; ¹⁰ **E**uropean **S**pace **A**gency; ¹¹ **S**pinning **E**nhanced **V**isible and **I**nfrared **I**mager; ¹² **M**oderate **R**esolution **I**maging **S**pectroradiometer; ¹³ **N**ational **A**eronautics and **S**pace **A**dministration; ¹⁴ **O**zone **M**onitoring **I**nstrument; ¹⁵ **N**ASA **G**oddard **S**pace **F**light **C**enter; ¹⁶ **S**olar **B**ackscatter **U**ltraviolet **R**adiometer; ¹⁷ **T**IROS **O**perational **V**ertical **S**ounder; ¹⁸ **N**ational **E**nvironmental **S**atellite, **D**ata, and **I**nformation **S**ervice; ¹⁹ **S**pecial **S**ensor **M**icrowave **I**mager/**S**ounder; ²⁰ **D**efense **M**eteorological **S**atellites **P**rogram; ²¹ od 2003 – F16, od 2006 – F17, od 2009 – F18, od 2014 – F19; ²² **S**AR/**I**nterferometric **R**adar **A**ltimeter; ²³ **S**atellite with **A**Rgos and **A**LtiKa; ²⁴ **C**entre **N**ational d'Études **S**patiales; ²⁵ **O**cean and **L**and **C**olour **I**nstrument (następca MERIS); ²⁶ **S**ea and **L**and **S**urface **T**emperature **R**adiometer (następca AATSR); ²⁷ **F**lexible **C**ombined **I**mage

Tabela 2.2. Satelity i zainstalowane na nich urządzenia pomiarowe wysokiej rozdzielczości możliwe do wykorzystania w najbliższych latach (objaśnienia skrótów pod tabelą)

Nazwa urządzenie pomiarowego na satelicie	Nazwa satelity	Rok uruczo- mienia	Charakterystyki środowiska Bałtyku i atmosfery nadbałtyckiej wyznaczane m.in. na podstawie danych z urządzenia wymienionego w kolumnie 1	Jak/od kogo otrzymujemy dane
Urządzenia działające aktualnie				
ETM ¹ +	Landsat-7	1999	właściwości optyczne wody, stężenie chlorofilu <i>a</i> , SST	NASA/GSFC, SIC*
OSA ²	Ikonos-2	1999	właściwości optyczne wody	SIC
BGIS ³ 2000	QuickBird-2	2001	właściwości optyczne wody	SIC
HRG ⁴	SPOT-5	2002	właściwości optyczne wody	ASTRIUM, SIC
Formosat-2	ROCSat-2	2004	właściwości optyczne wody	ASTRIUM
WV110 ⁵	WorldView-2	2009	właściwości optyczne wody	SIC
X-Band SAR ⁶	TerraSAR-X	2010	parametry lodu, topografia morza	ASTRIUM
HiRI ⁷	PLEIADES-1	2011	właściwości optyczne wody	ASTRIUM
	PLEIADES-1B	2012		
NAOMI ⁸	SPOT-6	2012	właściwości optyczne wody, SST	ASTRIUM
OLI ¹⁰ + TIRS ¹¹	Landsat 8	2013	właściwości optyczne wody, parametry lodu, zachmurzenie, SST	NASA
PALSAR-2	ALOS ⁹ -2	2014	parametry lodu, pole wiatru przywodnego, rozlewy olejowe	JAXA
NAOMI ⁸	SPOT-7	2014	właściwości optyczne wody, SST	ASTRIUM
Urządzenia planowane				
C-Band SAR	Sentinel 1B	2015	parametry lodu, pole wiatru przywodnego, parametry falowania, prądy powierzchniowe, rozlewy olejowe	ESA
MSI ¹²	Sentinel 2	2015	właściwości optyczne wody, stężenie chlorofilu <i>a</i>	ESA
HISUI ¹³	ALOS-3	2015	właściwości optyczne wody, parametry lodu, zachmurzenie	
X-Band SAR	TerraSAR-X NG	2016	parametry lodu, topografia morza	ESA

¹ Enhanced Thematic Mapper, ² Optical Sensor Assembly, ³ Ball Global Imaging System, ⁴ High Resolution Geometric, ⁵ WorldView-110 camera, ⁶ Synthetic Aperture Radar, ⁷ High-Resolution Imager, ⁸ New AstroSat Optical Modular Instrument, ⁹ Advanced Land Observing Satellite, ¹⁰ Operational Land Imager, ¹¹ Thermal Infrared Sensor, ¹² Multi Spectral Imager, ¹³ Hyperspectral Imager Suite, * Satellite Imaging Corporation

Aneks 3

Konsorcjum Naukowe SatBałtyk; osoby odpowiedzialne za realizację projektu

W 2009 roku grupa naukowców pod kierownictwem prof. dr hab. Bogdana Woźniaka z Instytutu Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie (IO PAN) przystąpiła do ogłoszonego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego (MNiSW) konkursu, zgłaszając projekt utworzenia operacyjnego systemu satelitarnego, kompleksowego, monitorowania środowiska Bałtyku. Propozycja ta uzyskała pozytywną ocenę Zespołu Zadaniowego MNiSW. W wyniku tej rekomendacji 30 grudnia 2009 roku w Warszawie podpisana została umowa, w wyniku której Minister MNiSW przyznał Instytutowi Oceanologii Polskiej Akademii Nauk ponad 40 milionów PLN na realizację projektu, pod nazwą „Satelitarna kontrola środowiska Morza Bałtyckiego (SatBałtyk)” nr POIG.01.01.02-22-011/09¹.

Biorąc pod uwagę dotychczasową współpracę kilku morskich instytutów naukowych w badaniach satelitarnych w ramach sieci badawczej i przy realizacji wcześniejszego projektu dotyczącego satelitarnych badań Bałtyku pt. DESAMBEM, Departament Wdrożeń i Innowacji MNiSW wyraził zgodę na włączenie do realizacji projektu SatBałtyk również Instytutu Oceanografii Uniwersytetu Gdańskiego (IO UG), Instytutu Fizyki Akademii Pomorskiej w Słupsku (IF AP) oraz Instytutu Nauk o Morzu Uniwersytetu Szczecińskiego (INoM US).

W tym celu 14 lutego 2010 roku w Sopocie Dyrektor Instytutu Oceanologii PAN prof. dr hab. Janusz Pempkowiak, Rektor Uniwersytetu Gdańskiego prof. dr. hab. Bernard Lammek, Rektor Akademii Pomorskiej w Słupsku dr hab. prof. nadzw. Roman Drożdż i Prorektor ds. Nauki i Współpracy

¹Projekt ten jest współfinansowany przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, lata 2007–2013, Priorytet 1. Badania i rozwój nowoczesnych technologii, Działanie 1.1 Wsparcie badań naukowych dla budowy gospodarki opartej na wiedzy, Poddziałanie 1.1.2 Strategiczne programy badań naukowych i prac rozwojowych.

Międzynarodowej Uniwersytetu Szczecińskiego prof. dr. hab. Andrzej Witkowski podpisali umowę powołującą Konsorcjum Naukowe SatBałtyk. Koordynatorem prac Konsorcjum został Instytut Oceanologii Polskiej Akademii Nauk. Kierownikiem i koordynatorem projektu został prof. dr. hab. Bogdan Woźniak, który po latach intensywnej i owocnej pracy zmarł po długiej walce z nieuleczaną chorobą 30 grudnia 2014 r. (patrz. *Oceanologia* 57(1)/2015). Obecnie kierownikiem i koordynatorem projektu jest dr. hab. Mirosława Ostrowska, prof. nadzw. IO PAN, która wcześniej, od początku w roku 2010 r. pełniła funkcję zastępcy kierownika Projektu.

Projekt realizuje kilkadziesiąt osób w czterech zespołach badawczych, których kierownikami są:

Dr. hab. Mirosław Darecki, prof. nadzw. IO PAN odpowiedzialny za realizację w IO PAN Tematu SatBałtyk 1: Przeprowadzenie uzupełniających badań naukowych, przygotowanie bazy technicznej oraz uruchomienie, weryfikacja i praktyczne wykorzystanie systemu satelitarnej kontroli Bałtyku w badaniach stanu i funkcjonowania jego ekosystemu.

Prof. dr. hab. Adam Krężel odpowiedzialny za realizację w IO UG Tematu SatBałtyk 2: Opracowanie, doskonalenie i empiryczna weryfikacja pakietu algorytmów wyznaczania pól fizycznych (temperatura, oświetlenie i inne) w morzu i atmosferze nadbałtyckiej i ich wdrożenie do systemu satelitarnej kontroli Bałtyku.

Dr. hab. Dariusz Ficek prof. nadzw. IF AP odpowiedzialny za realizację w IF AP Tematu SatBałtyk 3: Opracowanie i empiryczna weryfikacja pakietu algorytmów wyznaczania produkcji pierwotnej i bilansu promieniowania morza i ich wdrożenie do systemu satelitarnej kontroli Bałtyku.

Prof. dr. hab. Kazimierz Furmańczyk odpowiedzialny za realizację w INoM US Tematu SatBałtyk 4: Opracowanie i empiryczna weryfikacja metod określania wpływu istotnych procesów zachodzących w strefie brzegowej na środowisko morskie i ich wdrożenie do satelitarnej kontroli Bałtyku.

Pełnomocnikiem Kierownika Projektu ds. Integracji Systemu SatBałtyk jest dr Marek Kowalewski, natomiast ważną rolę głównego konsultanta i doradcy merytorycznego pełni w Projekcie prof. dr. hab. Jerzy Dera.

Realizacja celów Projektu zakończona zostanie 31 grudnia 2015 roku, a jego końcowym efektem będzie wdrożony do operacyjnego działania System SatBałtyk umożliwiający bieżące śledzenie oraz krótkookresowe prognozowanie stanu i przemian ekosystemu Bałtyku.