



Wprowadzenie teoretyczne

Przetwarzanie danych hydrologicznych Morza Bałtyckiego na podstawie systemu SatBałtyk - wprowadzenie

System SatBałtyk

System SatBałtyk (Satelitarna Kontrola Środowiska Morza Bałtyckiego) 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 innych nazywamy parametrami stanu środowiska. 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 dwóch autonomicznych bojach pomiarowych, na platformie wiertniczej Baltic Beta, na statkach badawczych, stacjach brzegowych (w Helu, Gaci i Międzyzdrojach) i w laboratoriach współdziałających instytutów naukowych Sopotu, Gdyni, Słupska i Szczecina. Obecnie centrum tego Systemu znajduje się w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk w Sopocie, gdzie spływają dane z satelitów i pozostałych urządzeń pomiarowych.

Monitoring Bałtyku

Polska prowadzi od lat monitoring Bałtyku oparty na pomiarach oceanograficznych wykonywanych w morzu podczas rejsów statkami (m. in. *RV Oceania*, *RV Imor*, *RV Oceanograf*, *RV Baltica*) i analizach laboratoryjnych pobranych z morza próbek wody, osadów dennych i innych materiałów. Taka „klasyczna” metoda monitoringu, dostarczająca cennych danych o środowisku, pozwala na bezpośrednią diagnozę 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.

Teledetekcja Satelitarna – metody pasywne

Źródłem informacji o stanie środowiska morskiego docierającej do urządzeń pomiarowych na pokładzie satelity jest promieniowanie elektromagnetyczne rozproszone i emitowane w przypowierzchniowej warstwie morza. 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. 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. 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.). Satelita może również rejestrować sygnał w zakresie fal podczerwonych (promieniowanie cieplne) oraz mikrofal, których charakterystyka spektralna zależy od temperatury powierzchni promieniającej. Stąd wyznacza się np. temperaturę powierzchni morza, zasięg występowania lodu morskiego, prędkość wiatru przywodnego i wiele innych parametrów.

Reflektancja zdalna

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 reflektancją mierzona zdalnie, krótko – „reflektancją zdalną” (ang. *remote sensing reflectance*) oznaczaną zwykle symbolem R_{rs} . Wartości tej reflektancji dla różnych długości fal światła (kanałów spektralnych radiometru) wyznaczamy na podstawie sygnałów rejestrowanych przez satelity. W wyniku 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.

Teledetekcja Satelitarna – metody aktywne

Obok wyżej opisanej 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.

Przetwarzanie danych satelitarnych

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 satelita nie „widzi” powierzchni morza.

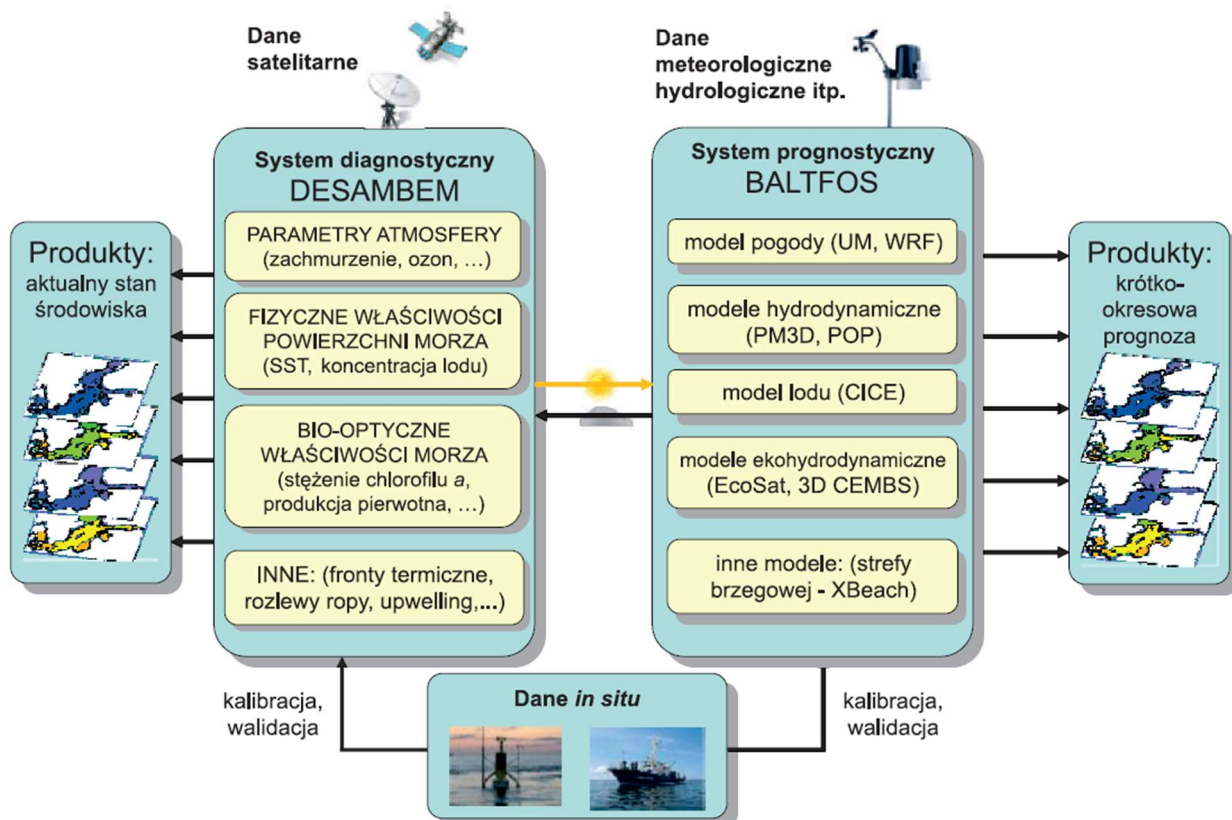
Specyfika Morza Bałtyckiego

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. 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 i rolnicze odpady organiczne, rozpuszczone i w zawieszynie, które radykalnie modyfikują przepływ światła, w tym wychodzące z tego morza sygnały odbierane przez satelity. Powoduje to konieczność stosowania dla Bałtyku specyficznych, dużo bardziej skomplikowanych niż dla oceanu, matematycznych modeli i algorytmów do satelitarnej teledetekcji środowiska tego Morza.

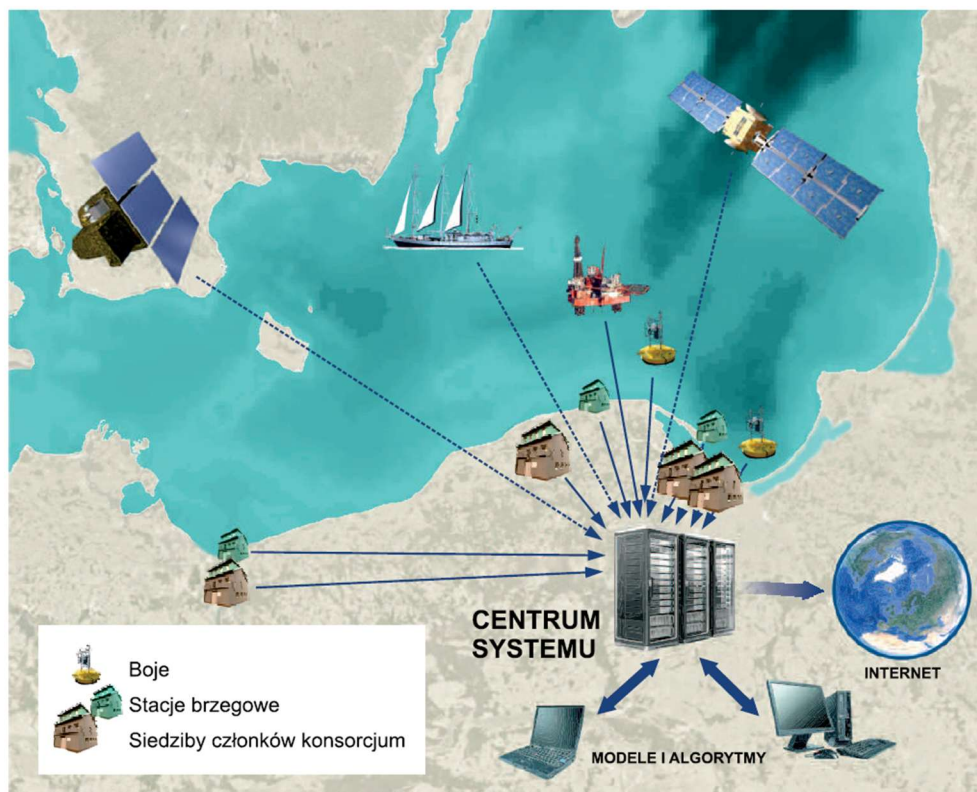
Opracowanie zawiera fragmenty broszury:

System SatBałtyk - satelitarny monitoring środowiska Bałtyku. Struktura, funkcjonowanie, możliwości operacyjne. M. Ostrowska, M. Darecki, M. Kowalewski, A. Krężel, J. Dera

System SatBałtyk



Rys. 1 Uproszczony schemat blokowy części obliczeniowej Systemu SatBałtyk. Dla przejrzystości rysunku w obu blokach wymienionych jest tylko po kilka charakterystyk (wybranych spośród wielu), które wyznaczane są za pomocą algorytmów tego bloku.



Rys. 2. Schemat poglądowy operacyjnego Systemu SatBałtyk.

Pytania do przygotowania:

Przetwarzanie danych hydrologicznych Morza Bałtyckiego na podstawie systemu SatBałtyk

1. Dlaczego obserwacja środowiska morskiego jest ważna i potrzebna?
2. W jaki sposób z satelity uzyskuje się informacje o środowisku morskim?
3. Jak powstał System SatBałtyk?
4. Jak działa System SatBałtyk?
5. Gdzie zainstalowane są urządzenia tworzące system SatBałtyk?
6. Jakie satelity wykorzystywane są w Systemie SatBałtyk?
7. Jaką rolę w systemie SatBałtyk pełnią pomiary *in situ* („podsatelitarne”)?
8. Jakie informacje o Morzu Bałtyckim prezentowane są w Systemie SatBałtyk?
9. Na czym polega eutrofizacja mórz i oceanów?
10. Jakie zagrożenia występują na Bałtyku?

Przygotowanie zajęć

1. Rejestrujemy się w systemie SatBałtyk (<https://satbaltyk.iopan.pl>) na kilka dni przed zajęciami. Jest to niezbędne, aby móc eksportować analizy danych.
2. Zapoznajemy się z treścią broszury SatBałtyk udostępnionej na stronie Katedry Fizyki UMG (<https://wm.umg.edu.pl/laboratorium-hydrologii-morz-i-oceanow>)

Przebieg zajęć

1. Pracujemy w zespołach 2-osobowych, ale każdy student pobiera dane dla innej lokalizacji lub innego okresu czasu.
2. Logujemy się w systemie SatBałtyk (<https://satbaltyk.iopan.pl>).
3. Wyświetlamy odpowiednie charakterystyki zgodnie ze wskazówkami prowadzącego i obrazujemy graficznie trendy w wybranych lokalizacjach.
4. Eksportujemy uzyskane wykresy i wklejamy do szablonu sprawozdania.
5. Każdą zobrazowaną charakterystykę Morza Bałtyckiego opatrujemy komentarzem, uwagami, wnioskami.
6. Ukończone sprawozdanie przesyłamy w formie elektronicznej na podany adres poczty elektronicznej prowadzącego zajęcia.

Analiza trendów

W zależności od szybkości łącza internetowego, analizy wykonujemy w dłuższych lub krótszych okresach czasu.

1. Temperatura powierzchni morza (SST – *Sea Surface Temperature*) – agregacja miesięczna z ostatnich 5 lat w dwóch lokalizacjach: w Zatoce Gdańskiej i innej wybranej lokalizacji.
2. Zasolenie powierzchniowe (SSS – *Sea Surface Salinity*) - agregacja miesięczna z ostatnich 5 lat w dwóch lokalizacjach: w pobliżu cieśnin duńskich i innej wybranej lokalizacji.
3. Poziom Morza Bałtyckiego (SSL – *Sea Surface Level*) – agregacja dzienna w czasie dwóch wlewów bałtyckich w jednej lokalizacji w okolicach cieśnin duńskich: dużego wlewu barotropowego z 2014 roku (w okresie 1-30 listopada 2014) oraz średniego wlewu barotropowego w 2023/2024 roku (w okresie 1 grudnia 2023 – 15 stycznia 2024).
4. Prądy powierzchniowe – agregacja dzienna z wybranego miesiąca bieżącego roku w dwóch lokalizacjach: w pobliżu półwyspu Helskiego i wybranej wyspy.
5. Zawartość tlenu – średnia miesięczna z jednego wybranego roku na każdej dostępnej głębokości (w jednej wybranej lokalizacji). Dla czterech miesięcy (po jednym z każdej pory roku) tworzymy wykresy zależności zawartości tlenu od głębokości.
6. Grubość pokrywy lodowej – wybieramy lokalizację w północnej części Zatoki Botnickiej, agregacja miesięczna z ostatnich 5 lat, albo dzienna z miesięcy styczeń – kwiecień dla wybranych dwóch lat.

Przetwarzanie danych hydrologicznych Morza Bałtyckiego na podstawie systemu SatBałtyk

Sprawozdanie wykonujemy według szablonu sprawozdania udostępnionego na stronie internetowej Laboratoria Katedry Fizyki UMG (<https://wm.umg.edu.pl/laboratorium-hydrologii-morz-i-oceanow>) na podstawie analiz wygenerowanych w czasie zajęć.

Sprawozdanie jest dostarczane w wersji elektronicznej na adres e-mail podany przez prowadzącego zajęcia.