

# Obserwator

## TAJEMNICE SARMATICOS OKEANOS



METEO  
IMGW-PIB  
[meteo.imgw.pl](http://meteo.imgw.pl)

PROGNOZOWANIE POGODY  
NA MORZU > str. 7

By bezpiecznie wrócić do portu

KLIMAT BAŁTYKU > str. 22

Jak zmiana klimatu przekształci  
polskie wybrzeże

REJS! > str. 37

Na pokładzie t/v Baltica

nauka

**3** Monitoring Bałtyku w IMGW  
– od początków do dziś  
Z uwagą spoglądamy w kierunku morza

meteo

**7** Prognozowanie pogody na morzu  
(i nie tylko)  
By bezpiecznie wrócić do portu

hydro

**11** Ostoja morska i hydrologia z IMGW  
Czyli o prognozowaniu hydrologicznym na morzu

technologie

**14** Bałtyk na ekranie monitora  
Poznaj tajemnice skutecznych narzędzi  
do prognozowania procesów hydrodynamicznych  
w Morzu Bałtyckim

**18** Morskie stacje meteorologiczne  
Utrzymanie sieci obserwacyjno-pomiarowej kluczem  
do bezpieczeństwa

klimat

**22** Czy Bałtyk może być ciepłym morzem?  
Jak zmiana klimatu przekształci polskie wybrzeże

środowisko

**28** Podwodny świat i jego ochrona  
Czy życie w Bałtyku umiera?

technologie

**32** Pływające laboratoria  
Niezwyczajna historia polskich badań oceanicznych

ludzie

**37** Rejs!  
Na pokładzie r/v Baltica

**Obserwator**  
Gazeta Obserwatora ISSN: 2658-2716

**Wydawca:** Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej – Państwowy Instytut Badawczy  
01-673 Warszawa, ul. Podleśna 61 | www.imgw.pl

**Redaktor prowadzący:** Rafał Stepnowski  
**Grafik prowadzący:** Michał Seredin

**Zespół redakcyjny:** Zespół Komunikacji IMGW-PIB  
**Kontakt do redakcji:** content@imgw.pl

Redakcja nie zwraca materiałów niezamówionych, zastrzega sobie prawo do skrótów, adiacji i redagowania nadesłanych tekstów. Wszystkie materiały publikowane w Obserwatorze (Gazeta Obserwatora ISSN: 2658-2716) mogą być przedrukowywane wyłącznie za zgodą redakcji. Redakcja nie ponosi odpowiedzialności za treść zamieszczanych reklam i ogłoszeń.



W epickim dziele „Geografia” Klaudiusz Ptolemeusz, astronom, matematyk i geograf, przedstawił opis świata, jaki znano w drugim stuleciu naszej ery. Na skreślonych przez greckiego uczonego mapach północną granicę kontynentu europejskiego opływają wody Oceanu Sarmackiego. Wiemy, że Ptolemeusz się mylił i że to, co brał za wielki ocean na północy, było morzem.

Osiemset lat później inny geograf, Niemiec Adam z Bremy, nazwał ten akwen balteus, używając słowa określającego pas rzymskich legionistów, do którego przytraczano miecz. Czy miał na myśli „morze do pasa”, czy po prostu wody okalające rubieżę znanego ówczesnie świata? Do dziś nie znaleziono jednoznacznej odpowiedzi.

Oto Bałtyk – najmłodsze morze świata, które wciąż potrafi zaskakiwać.

Rafał Stepnowski



Tamara Zalewska | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Oceanografii i Monitoringu Bałtyku

**Morze Bałtyckie jest jednym z najintensywniej wykorzystywanych gospodarczo akwenów Europy. Na jego wodach odbywa się 15 proc. globalnego transportu morskiego, a kraje nadbałtyckie zamieszkuje w sumie ponad 85 mln ludzi. Co roku do wód Bałtyku, zarówno rzekami, jak i z atmosfery, trafiają miliony ton substancji pochodzenia rolniczego i innych niebezpiecznych zanieczyszczeń. Dlatego niezwykle ważne są regularne badania, które pozwalają monitorować stan tego ekosystemu. Ich wyniki są podstawą do wyznaczania zakresu działań, mających na celu ograniczenie presji i procesów prowadzących do pogarszania się stanu środowiska Morza Bałtyckiego, a także określają kierunek, w jakim powinny przebiegać zmiany. Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej jest jedną z instytucji, które uważnie spoglądają w kierunku Bałtyku.**

Badania środowiska morskiego rozpoczęto w IMGW-PIB w 1959 roku - pierwotnie jedynie w zakresie kilku głównych parametrów fizykochemicznych. W kolejnych latach program monitoringu był rozszerzany o elementy biologiczne i chemiczne. W 1991 roku uruchomiono regularne badania środowiska morskiego Bałtyku w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. Jego koordynację powierzono Głównemu Inspektorowi Ochrony Środowiska. W 2014 roku zmodyfikowano zakres badań monitoringowych zgodnie z wytycznymi dyrektywy ramowej w sprawie strategii morskiej (2008/56/WE<sup>1</sup>) i odnoszącej się do niej decyzji Komisji Europejskiej 2017/848<sup>2</sup>. Obydwa akty prawne określają wskaźniki opisowe, które muszą być uwzględnione w badaniach prowadzonych przez kraje unijne w obszarach morskich pozostających pod ich jurysdykcją. Państwa członkowskie opracowują sześciolatnie programy monitoringu obszarów morskich, skonstruowane tak, aby możliwe było dokonanie oceny stanu środowiska w zakresie wszystkich wskaźników. Monitoring polskich obszarów morskich Bałtyku jest prowadzony w ścisłej współpracy regionalnej koordynowanej przez Komisję Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku (HELCOM) i został ujęty w Strategicznym Programie Państwowego Monitoringu Środowiska na lata 2020-2025.

**Rola IMGW-PIB.** Badania monitoringowe środowiska Morza Bałtyckiego, prowadzone przez Zakład Oceanografii i Monitoringu Bałtyku IMGW-PIB, obejmują obszar morza otwartego oraz strefy wód przybrzeżnych i przejściowych, w tym Zalewu Szczecińskiego i Zalewu Wiślanego. Pomiar i obserwacje na pełnym morzu wykonuje się z pokładu statku badawczego „Baltica”<sup>3</sup> sześć razy w roku: w lutym, marcu, czerwcu, sierpniu, we wrześniu i w listopadzie. Harmonogram ten pozwala wychwycić zmiany sezonowe zarówno w zakresie temperatury wody, jak i rozwoju organizmów morskich, który jest ściśle powiązany z temperaturą i dostępnością światła w akwieniu. Rejsy pełnomorskie trwają zazwyczaj 4-8 dni. Poza nimi wykonywane są również jednodniowe eskapady w rejonie Zatoki Puckiej, Zalewu Szczecińskiego i Zalewu Wiślanego - z wykorzystaniem mniejszych jednostek.

Pomiary i pobór próbek odbywają się w ośmiu stacjach głębokowodnych, zlokalizowanych w Zatoce Gdańskiej, Głębi Gdańskiej, we wschodnim Basenie Gotlandzkim, w Basenie Bornholmskim i Rynnie Słupskiej. Uzupełnieniem sieci jest osiemnaście stacji w strefie płytkowodnej. Badania są prowadzone również w dwóch stacjach referencyjnych w Zatoce Gdańskiej i w rejonie środkowego Wybrzeża. Dodatkowo w jednej lokalizacji, w Zatoce Puckiej, częstotliwość pomiarów jest zwiększona do dwunastu razy na rok. Taki wybór i podział stacji umożliwia śledzenie zmian zachodzących w obszarach o różnej charakterystyce hydrologiczno-morfologicznej, pozostających pod wpływem różnych presji.

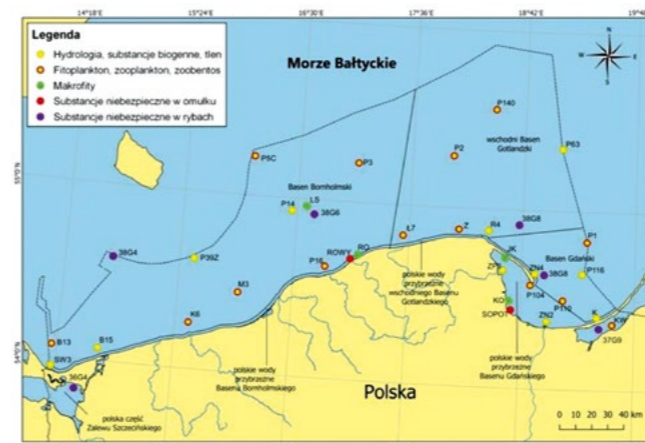
**Co mierzymy?** Zakres badań monitoringowych jest bardzo szeroki i obejmuje parametry fizykochemiczne i biologiczne, stężenie substancji niebezpiecznych, w tym metali ciężkich,



Wskaźniki opisowe stanu (kolor zielony), presji biologicznych (kolor pomarańczowy), związane z wprowadzeniem do środowiska substancji, odpadów i energii (kolor szary) oraz presji fizycznych (kolor brązowy), uwzględniane w badaniach monitoringowych prowadzonych przez państwa członkowskie UE w obszarach morskich (źródło: aktualizacja wstępnej oceny stanu środowiska morskiego (Uchwała Rady Ministrów nr 8 z dnia 18 stycznia 2019 roku – Dz.U. 2019, poz. 230).

trwałych zanieczyszczeń organicznych i izotopów promieniotwórczych w różnych matrycach, odpady morskie gromadzone na plażach i pływające w toni wodnej wraz z mikrocząstkami, a także parametry określające dźwięki podwodne. Część parametrów, np. temperatura i zasolenie w kolumnie wody oraz prądy morskie na transektach pomiędzy stacjami, jest mierzona in situ, czyli na miejscu, w terenie. Jednak w większości przypadków próbki wody morskiej pobiera się z różnych głębokości i analizuje w laboratorium na statku lub na lądzie. W taki sposób oznacza się stężenie tlenu, odczyn pH, ciśnienie parcjalne dwutlenku węgla (pCO<sub>2</sub>), azotany, azotyny, azot całkowity, fosforany i fosfor całkowity.

Bardzo ważnym czynnikiem, świadczącym o zdrowiu ekosystemu morskiego, jest obecność i różnorodność gatunków fauny i flory. Z tego względu prowadzi się regularne badania liczebności i biomasy fitoplanktonu (małe organizmy roślinne), zooplanktonu (małe organizmy fauny), zoobentosu (organizmy zwierzęce o rozmiarach makroskopowych) oraz alg i roślin naczyniowych. Istotnym wskaźnikiem jest również chlorofil a - barwnik asymilacyjny występujący w roślinach - który może być stosowany do śledzenia zakwitów. Oznacza się go w próbkach wody morskiej pobieranych z głębokości 0-10 m.



Lokalizacja stacji pomiarowo-badawczych i oznaczane w nich parametry w ramach aktualnego monitoringu prowadzonego przez IMGW-PIB.

Kolejnymi parametrami monitorowanymi w ramach programu są substancje chemiczne i związki charakteryzujące się udokumentowaną szkodliwością dla zdrowia ludzi i organizmów morskich. Należą do nich metale ciężkie, w tym rtęć, ołów i kadm, których śladów szuka się w rybach i osadach dennych, a także izotopy promieniotwórcze. Badania nad obecnością cezu 137 i strontu 90 w wodzie morskiej, rybach i osadach dennych prowadzi się od lat 80., gdy w wyniku awarii elektrowni atomowej w Czarnobylu doszło do skażenia atmosfery i wód tymi niebezpiecznymi izotopami emitującymi promieniowanie.

Poważnym zagrożeniem są również trwałe zanieczyszczenia organiczne, które ulegają bioakumulacji i bardzo często mają działanie rakotwórcze lub wywołują inne choroby, w tym związane z zaburzeniami hormonalnymi. Do substancji objętych obecnie badaniami monitoringowymi należą związki polibromowane, pestycydy chloroorganiczne (w tym polichlorowane bifenyle), związki tributylowe, sulfonian perfluorooctanowy (PFOS) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne pochodzące z paliw kopalnych i produktów spalania, ze szczególnym uwzględnieniem benzo(a)pirenu. Ponadto sprawdza się obecność i stężenie farmaceutyków, których duże ilości są odprowadzane do Bałtyku z oczyszczalni ścieków. Ostatnie badania wskazują, że mogą one w znacznym stopniu wpływać na kondycję organizmów morskich.

Coraz większym problemem staje się broń chemiczna i wraki statków zalegające na dnie Morza Bałtyckiego. Wielu ekspertów mówi wręcz o „tykającej bombie ekologicznej”, która zagraża całemu ekosystemowi morskiemu. Dlatego w 2020 roku IMGW rozpoczął badania na obecność w osadach dennych iperytu, arsenu i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych. Celem jest wczesne wykrycie potencjalnych skażeń, wynikających z uwalniania się z zatopionych statków bojowych środków trujących i paliwa.

W 2015 roku uruchomiono program monitoringu odpadów gromadzonych na plażach i mikroodpadów w wodzie morskiej i osadach. W tym samym roku podjęto działania w celu rejestra-

cji hałasu podwodnego, który w sposób istotny może wpływać negatywnie na życie ssaków morskich.

**Kompleksowe opracowanie oceny stanu środowiska morskiego.** Badania monitoringowe są cenne tylko, jeśli prowadzi się regularnie, ciągle i zgodnie z aktualnymi wytycznymi. Ich wyniki stanowią podstawę do opracowania oceny stanu środowiska Bałtyku. Pracownicy Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku, przy współudziale ekspertów IMGW-PIB z zakresu meteorologii i hydrologii, co roku przygotowują publikację prezentującą aktualny stan środowiska Bałtyku w odniesieniu do poprzedzającego dziesięciolecia. Obecnie na ukończeniu jest najnowsze opracowanie „Ocena stanu środowiska polskich obszarów morskich Bałtyku na podstawie danych monitoringowych z roku 2020 na tle dziesięciolecia 2010-2019”. Publikacja powstaje na zlecenie Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska i jest finansowana ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.

**Współpraca HELCOM.** Administracyjnie Bałtyk jest podzielony na obszary pozostające pod jurysdykcją poszczególnych państw. Jednak z punktu widzenia środowiska akwen ten stanowi całość, dlatego dla utrzymania dobrego stanu jego ekosystemów bardzo ważną jest współpraca pomiędzy poszczególnymi krajami. Działania te koordynuje Komisja Ochrony Środowiska Morskiego Bałtyku - Komisja Helsińska (HELCOM). Na podstawie wspólnych ustaleń kraje nadbałtyckie dobrowolnie zobowiązują się do współpracy w zakresie badania i oceny stanu środowiska morskiego oraz działań podejmowanych na rzecz jego poprawy. HELCOM powstała jako organ wykonawczy konwencji o ochronie środowiska morskiego obszaru Morza Bałtyckiego z 1974 roku. W Polsce konwencja weszła w życie 3 maja 1980 roku, a kolejna umowa została ratyfikowana 8 października 1999 roku. Sygnatariuszami konwencji helsińskiej są kraje nadbałtyckie (dziewięć państw) i Wspólnota Europejska.

*Monitoring Bałtyku, prowadzony przez pracowników Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku IMGW-PIB w ramach umowy z Głównym Inspektoratem Ochrony Środowiska, jest bardzo ważnym elementem Państwowego Monitoringu Środowiska. Program ten stanowi podstawę w zakresie wypełniania zobowiązań Polski jako kraju członkowskiego UE i zapewnia powszechny dostęp do wiarygodnej informacji o stanie środowiska morskiego Bałtyku.*

**TAMARA ZALEWSKA.** Absolwentka Politechniki Gdańskiej. Doktor nauk chemicznych, doktor habilitowany nauk technicznych w dziedzinie inżynierii środowiska. Od 2000 roku pracownik naukowy IMGW-PIB. Obecnie kierownik Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku. Zajmuje się szeroko pojętymi zagadnieniami związanymi z badaniami i ochroną obszarów morskich, ze szczególnym uwzględnieniem problematyki oceny stanu środowiska.

<sup>1</sup> Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/56/WE z dnia 17 czerwca 2008 roku ustanawiająca ramy działań Wspólnoty w dziedzinie polityki środowiska morskiego (dyrektywa ramowa w sprawie strategii morskiej), EUR-Lex, Bruksela.  
<sup>2</sup> Decyzja Komisji Europejskiej (UE) 2017/848 z dnia 17 maja 2017 roku ustanawiająca kryteria i standardy metodologiczne dotyczące dobrego stanu środowiska wód morskich oraz specyfikacje i ujednolicone metody monitorowania i oceny, oraz uchylająca decyzję 2010/477/UE, EUR-Lex.  
<sup>3</sup> Właścicielami jednostki r/y „Baltica” są Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej oraz Morski Instytut Rybacki.



# Prognozowanie pogody na morzu (i nie tylko)

Anna Zielińska-Szefka | IMGW-PIB/Centrum Meteorologicznej Osłony Kraju  
Biuro Meteorologicznych Prognoz Morskich w Gdyni

**W zimie 1859 roku u wybrzeży Wysp Brytyjskich wystąpił niezwykle silny sztorm, podczas którego zginęły 133 statki, a 90 zostało poważnie uszkodzonych. Zginęło 800 osób. Po tej tragedii Robert FitzRoy, ówczesny szef brytyjskiego Met Office, sporządził raport, w którym przekonywał, że na podstawie danych meteorologicznych sztorm można było przewidzieć. Wbrew sceptycznym opiniom środowiska naukowego uzyskał poparcie dla swoich metod prognostycznych i dzięki jego staraniom w 1861 roku uruchomiono pierwszą na świecie służbę ostrzegania przed sztormami. Dziś morska osłona hydrologiczno-meteorologiczna jest standardem i obejmuje większość akwenów na świecie.**

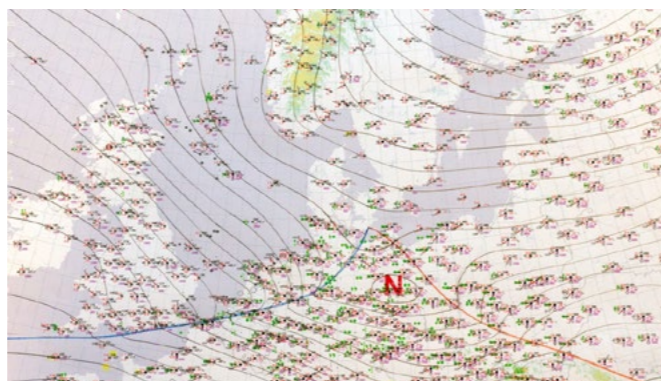
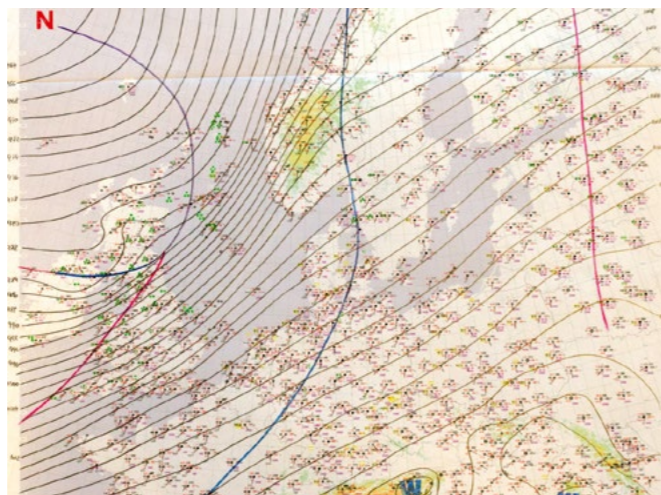
System stworzony przez FitzRoya opierał się na łączności telegraficznej, służącej przekazywaniu ostrzeżeń, i sieci umiejscowionych w wyznaczonych lokalizacjach masztów, z których za pomocą kombinacji stożków i bębnow informowano statki przebywające w portach i na wodach przybrzeżnych o zbliżającej się wichurze. Podobny system ostrzegania stosowano później w wielu innych krajach. Na polskim wybrzeżu funkcjonował on z przerwami od dwudziestolecia międzywojennego do lat 80. XX wieku.

**Trochę historii.** Dla ludzi morza pogoda zawsze miała fundamentalne znaczenie, od niej bowiem zależało w dużej mierze ich bezpieczeństwo. Umiejętność obserwacji i przewidywania warunków pogodowych stanowiła ważny element tożsamości i tradycji, którą przekazywano kolejnym pokoleniom marynarzy. Pomimo braku precyzyjnych narzędzi i wiedzy na temat fizycznej natury zjawisk pogodowych prowadzone przez dziesiątki lat

obserwacje wniosły istotny wkład w rozwój meteorologii morskiej. Prawdziwą rewolucję przyniosły odkrycia naukowe w XVI i XVII wieku, dzięki którym stworzono podstawy nowożytnej fizyki. Dzięki tym zmianom i nowatorskim wynalazkom w XVIII wieku powstało w Niemczech Palatyńskie Towarzystwo Meteorologiczne - pierwsza międzynarodowa sieć meteorologiczna składająca się z trzydziestu dziewięciu stacji, w tym dwóch w Ameryce Północnej i jednej na Grenlandii. Regularne obserwacje pozwoliły zrozumieć i opisać różne zjawiska atmosferyczne, jak pasaty czy monsuny. Powstały mapy prądów morskich i przeważających wiatrów nad oceanami. W dziedzinie meteorologii morskiej krokiem milowym była opracowana w 1805 roku przez admirała Francisza Beauforta i powszechnie stosowana opisowa skala wiatrów.

**Metoda synoptyczna - subiektywna ocena rzeczywistości.** Wspomniany na wstępie Robert FitzRoy był jednym z pionierów

MAPY SYNOPTYCZNE DOLNE SĄ TO SPORZĄDZONE W ODPOWIEDNIEJ SKALI MAPY GEOGRAFICZNE, NA KTÓRE NANOSI SIĘ ZA POMOCĄ UMOWNYCH SYMBOLI I ZNAKÓW WYNIKI JEDNOCZESNYCH OBSERWACJI METEOROLOGICZNYCH WYKONANYCH NA LĄDZIE I MORZU. SPORZĄDZENIE MAPY POGODY W PIERWSZYM KROKU POLEGA NA NANIESIENIU NA NIĄ WYNIKÓW OBSERWACJI LĄDOWYCH ZAKODOWANYCH W POSTACI DEPEZSY SYNOP LUB ZE STACJI MORSKICH W POSTACI DEPEZSY SHIP. KOLEJNYM ETAPEM JEST ANALIZA MAPY POLEGAJĄCA NA RĘCZNYM LUB KOMPUTEROWYM WYKRĘSLENIU IZOBAR (LINII ŁĄCZĄCYCH PUNKTY O JEDNAKOWYM CIŚNIENIU), IDENTYFIKACJI MAS POWIETRZA ORAZ UMIEJSCOWIENIU FRONTÓW ATMOSFERYCZNYCH. W PROCESIE ANALIZY SYTUACJI SYNOPTYCZNEJ KORZYSTA SIĘ ZE WSZYSTKICH DOSTĘPNYCH ŹRÓDEŁ INFORMACJI O STANIE ATMOSFERY. POZA DANymi Z POMIARÓW BEZPOŚREDNICH SĄ TO DANE SATELITARNE, OBRAZY RADAROWE, DANE Z SYSTEMU DETEKcji WYŁADOWAŃ. MAPY SYNOPTYCZNE OPRACOWUJE SIĘ DLA GŁÓWNYCH (00, 06, 12, 18 UTC) I POŚREDNICH (03, 09, 15, 21 UTC) TERMINÓW SYNOPTYCZNYCH. OBSZAR NIMI OBJĘTY POWINIEN BYĆ DOSTATECZNIE DUŻY, ABY MOŻNA BYŁO ŚLEDZIĆ PRZEMIESZCZANIE SIĘ I ROZWÓJ OBIEKTÓW METEOROLOGICZNYCH.



Współczesne mapy synoptyczne analizowane przez synoptyka (archiwum IMGW).

rów tzw. synoptycznej metody prognozowania, a także autorem tego określenia<sup>1</sup>. Główną rolę w tej metodzie odgrywa synoptyk, który analizuje bieżący stan pogody z map synoptycznych wykreślonych na podstawie pomiarów wykonanych w określonym terminie. W kolejnym kroku przygotowuje prognozę, bazując na znajomości procesów fizycznych zachodzących w atmosferze, reguł przemieszczania się układów barycznych i ich ewolucji. Kluczem do poprawnego sformułowania możliwego przebiegu pogody jest wiedza, doświadczenie i intuicja synoptyka. Jednak przy tak skomplikowanym systemie, jakim jest atmosfera ziemiska, wyniki metody synoptycznej nie zawsze okazują się zadowalające, a często są obarczone poważnymi błędami. Rozwój metod numerycznych – bardziej obiektywnych i pozwalających na uwzględnienie ogromnej liczby procesów i zmiennych – spowodował, że metoda synoptyczna nie jest już w praktyce stosowana. Mapy synoptyczne pozostają jednak w użyciu i są wykorzystywane przez synoptyków do śledzenia faktycznego rozwoju sytuacji barycznej oraz weryfikowania prognoz i wyników obliczeń modeli numerycznych.

**Metody numeryczne.** Na początku XX wieku norweski fizyk i meteorolog Vilhelm Bjerknes sformułował dwuetapowy algorytm prognozy meteorologicznej. Pierwszy krok polegał na wyznaczeniu wyjściowych pól ciśnienia, gęstości, temperatury, wilgotności i prędkości. Pola te stanowiły warunek początkowy potrzebny do przeprowadzenia dalszych obliczeń w kroku drugim – prognostycznym. Ponieważ Bjerknes nie dysponował analitycznymi lub numerycznymi metodami rozwiązania algorytmu, skupił się na metodach graficznych. Pierwszą próbę prognozowania metodą obliczeniową, z wykorzystaniem równań podanych przez Bjerknesa i metod numerycznych, podjął w 1922 roku angielski matematyk Lewis Fry Richardson. Jego praca stworzyła podwaliny pod współczesne prognozowanie numeryczne. Jednak dopiero wynalezienie komputerów pozwoliło na zastosowanie tych metod operacyjnie. Obecnie wykorzystuje się złożone algorytmy działające na potężnych

superkomputerach, w których obserwacje bieżącej pogody są przetwarzane za pomocą matematycznego modelu atmosfery, aby przewidzieć stan, w jakim się ona znajdzie w określonym horyzoncie czasowym.

Ponieważ atmosfera ziemiska jest niezwykle skomplikowanym układem dynamicznym, dokładne rozwiązanie równań opisujących jej zachowanie jest niemożliwe. Wyniki obliczeń zależą w dużej mierze od ilości i jakości danych wejściowych. Nie ma też jednego, idealnego modelu, który sprawdzałby się w każdej sytuacji. Z tego względu coraz większym zainteresowaniem cieszą się prognozy wiążkowe i tzw. multimodele. Prognoza wiążkowa to nic innego, jak zestawienie, w formie wykresu, prognozy kilku przebiegów danego parametru, np. temperatury, wyliczonych przy zastosowaniu różnych danych wejściowych. Multimodel to z kolei zestawienie wyników wyliczeń danego parametru z kilku modeli. W obu przypadkach otrzymujemy informację o najbardziej i najmniej prawdopodobnych wartościach.

Poruszanie się w tym labiryncie informacji wymaga odpowiedniej wiedzy. Dlatego młodych synoptyków nadal uczy się wykreślania map i stosowania analizy synoptycznej. Jakkolwiek archaiczna może się wydawać w obecnych czasach sama czynność ręcznego kreślenia mapy, to jest ona skutecznym sposobem zdobywania doświadczenia na początkowym etapie kariery meteorologa. Numeryczne metody progno-

zowania są obecnie głównym narzędziem synoptyka, ale umiejętne i świadome korzystanie z nich wymaga wiedzy i umiejętności na takim poziomie, aby bez wsparcia modelem przeprowadzić poprawną analizę danych i opracować rzetelną prognozę.

**Prognozy morskie - początki.** Historia polskiej służby morskich prognoz meteorologicznych sięga końca I wojny światowej. Po uzyskaniu dostępu do morza rozpoczął się dynamiczny rozwój żeglugi, gospodarki morskiej i rybołówstwa, którym należało zapewnić skuteczną osłonę hydrologiczno-meteorologiczną. W początkowym okresie wsparcie to polegało na bezpośrednim przekazywaniu obserwacji i pomiarów lub tworzeniu na ich podstawie ostrzeżeń. Wkrótce rozpoczęto kreślenie map synoptycznych, na podstawie których sporządzano prognozy pogody dla południowej części Bałtyku i polskiego wybrzeża. Wszystko przerwał wybuch II wojny światowej. Po jej zakończeniu służbę prognoz organizowano od podstaw i już 1 listopada 1945 roku rozpoczęto nadawanie przez radiostację Gdynia Radio (SPH) prognoz pogody dla południowej części Bałtyku w języku polskim i angielskim.

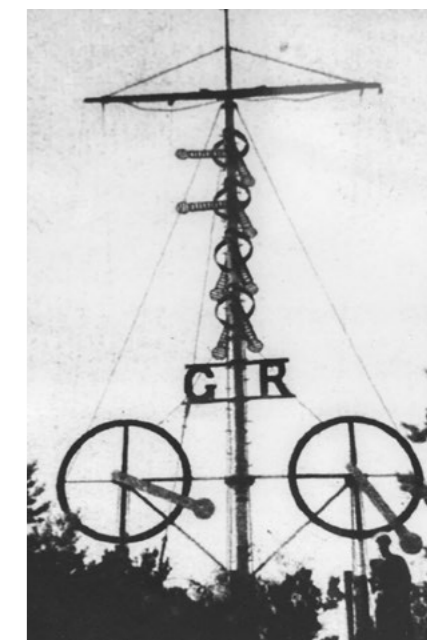
Prognoza SPH opracowywana jest do dzisiaj, z tym że obecnie obejmuje zasięgiem wszystkie główne akweny Bałtyku: Zachodni, Południowy, Południowo-Wschodni, Centralny i Północny, a także obszar Zatoki Pomorskiej, centralnej części polskiego wybrzeża i Zatoki Gdańskiej. Nadawana jest drogą radiową o stałych porach, o godzinie 1:35, 7:35, 13:35 i 19:35, przez Polish Rescue Radio. Jest też prezentowana w serwisie bałtyk.imgw.pl wraz z prognozą rybacką.

**Charakterystyka prognozy pogody na morzu.** Podstawowe wymagania odnośnie do prognoz morskich, tworzonych w ramach osłony meteorologicznej realizowanej przez państwo będące członkiem WMO, zawiera publikacja WMO-No. 471 „Guide to Marine Meteorological Services”. Szczegółową formę prognoz służby narodowe wypracowują we własnym zakresie, uwzględniając specyfikę osłanianego akwenu, a także wymagania i potrzeby odbiorców. W IMGW-PIB przygotowywane są 24-godzinne prognozy krótkoterminowe wydawane cztery razy na dobę oraz średnioterminowa, orientacyjna prognoza wiatru wydawana raz dziennie na 72 godziny do przodu. Uzupełnieniem osłony morskiej są ostrzeżenia dla polskiej strefy brzegowej.

*Morza i oceany pozostają nieujarzmionymi żywiołami natury. Dzięki sprawnym systemom osłony, coraz lepszym i dokładniejszym prognozom, obserwacjom satelitarnym, a także nowoczesnej technologii nawigacyjnej żegluga po tych akwenach jest znacznie bezpieczniejsza niż za czasów Roberta FitzRoya. Praca tysięcy synoptyków, meteorologów i modelarzy każdego dnia umożliwia kontenerowcom, trałowcom, statkom pasażerskim i małym rybackim kutrom szczęśliwe dotarcie do portu. Wydane odpowiednio wcześniej ostrzeżenia pozwalają chronić życie i mienie ludzi żyjących na wybrzeżu, jak również odpowiednio zaplanować rozwój miast i infrastruktury. I chociaż pogoda na morzu wciąż potrafi zaskoczyć, to dzięki stosowaniu się do zaleceń i komunikatów odpowiednich służb możemy minimalizować ryzyko związane z życiem, wypoczynkiem i pracą na morzu.*



Budynek Oddziału Morskiego PIHM przy ul. Waszyngtona 42 w Gdyni w latach 60. XX w., z widocznym na dachu masztem służącym do umieszczania ostrzeżeń sztormowych (archiwum IMGW).



Maszt sygnałowy na Helu; zestawienie sygnałów wskazuje na wiatr w Gdyni o natężeniu 8 st. w skali Beauforta o kierunku południowo-wschodnim, a na Rozewiu poniżej 6 st. w skali Beauforta (archiwum IMGW).

Prognoza krótkoterminowa zawiera opis sytuacji barycznej, ostrzeżenie przed silnym wiatrem lub sztormem albo informację o jego braku, prognozę kierunku i siły wiatru wraz z porywami (wyrażonymi w skali Beauforta) oraz charakterystykę stanu morza (w skali Douglasa). Znajdują się w niej również informacje o widzialności, zjawiskach atmosferycznych,

temperaturze powietrza i możliwości oblodzenia statków. Każda prognoza jest nadzorowana – od początku okresu ważności aż do momentu wydania kolejnej – co oznacza, że pracownicy IMGW stale monitorują warunki meteorologiczne na osłanianym akwenu. Jeżeli pogoda zmienia się na tyle, że odbiega od prognozy, dżurny synoptyk podejmuje stosowne działania.

**ANNA ZIELIŃSKA-SZEFKA.** Absolwentka Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego ze specjalizacją w zakresie oceanografii fizycznej. W IMGW-PIB od 1997 roku. Obecnie jest kierownikiem Biura Meteorologicznych Prognoz Morskich oraz synoptykiem meteorologiem prognoz morskich i ogólnych. Zajmuje się realizacją i koordynacją prac związanych z meteorologiczną osłoną morską oraz osłoną regionalną obszaru odpowiedzialności biura w ramach Centrum Meteorologicznej Osłony Kraju.

<sup>1</sup> Synoptyczny (gr. synoptikos) – przymiotnik określający wspólne widzenie lub obejmowanie wszystkiego jednym spojrzeniem.

# Ostona morska i hydrołodzy z IMGW

Beata Kowalska | IMGW-PIB/Centrum Hydrologicznej Ostony Kraju/Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Gdyni

**Obserwowana na świecie współczesna zmiana klimatu ma niezwykle negatywne skutki dla mórz i oceanów, a podnoszenie się ich poziomów uznaje się za jeden z głównych wskaźników globalnego ocieplenia. W efekcie rośnie zagrożenie wezbraniami sztormowymi, powodzią od strony morza i ekstremalnymi zjawiskami hydrologicznymi. Ludność zamieszkująca wybrzeża i tereny nadmorskie, w szczególności obszary nizinne i depresyjne, będzie w najbliższych dziesięcioleciach coraz częściej zmagać się z konsekwencjami tych przeobrażeń. Potencjalne straty może ograniczać skuteczny system ostrzegania oraz wydana odpowiednio wcześniej wysokiej jakości prognoza.**

Morska ostona hydrologiczna to system informowania i ostrzegania o obserwowanym i przewidywanym przebiegu procesów hydrologicznych na morzu. W IMGW-PIB zadania te realizuje zespół Wydziału Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Gdyni, który poza opracowaniami dla Morza Bałtyckiego przygotowuje prognozy i aktualne dane dla ujściowych odcinków Odry, Wisły i rzek Przymorza. Ze względu na specyfikę zagadnień i ich znaczenie dla wielu sektorów gospodarki Instytut ściśle współpracuje z wojewódzkimi organami administracji państwowej, lokalnymi samorządami, urzędami morskimi i podlegającymi im kapitanatami portów, ze służbami ratowniczymi i z Marynarką Wojenną. Prognozy hydrologiczne bowiem są istotnym elementem ostony hydrometeorologicznej żeglugi na wodach przybrzeżnych - wspomagają pracę portów, stoczni, armatorów, a w sytuacji zagrożenia mają bezpośredni wpływ na decyzje wydawane przez koordynatorów akcji przeciwpowodziowych.

Ich odbiorcami są również żeglarze, turyści i miłośnicy sportów wodnych. Dodatkowo w okresie zimowym IMGW-PIB prowadzi morską ostonę lodową - wydaje raporty i biuletyny lodowe, a także mapy lodowe strefy brzegowej i Bałtyku, dostarczające informacji m.in. na temat warunków żeglugi na całym Morzu Bałtyckim, asyście lodołamaczy czy restrykcjach nawigacyjnych na poszczególnych akwenach.

**Nielatwe prognozowanie na morzu.** Aby prawidłowo ocenić aktualny stan i możliwe przyszłe zmiany warunków hydrologicznych na Morzu Bałtyckim, niezbędna jest analiza wielu elementów meteorologicznych. Zmiany poziomu wody wzdłuż polskiego wybrzeża są wypadkową działania różnorodnych czynników, z których najważniejsze to ciśnienie atmosferyczne, kierunek i prędkość wiatru, a także temperatura wody i powietrza, ewentualna pokrywa lodowa, prądy morskie oraz falowanie.

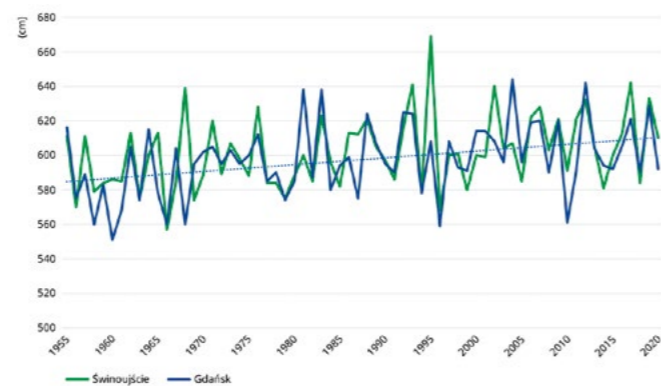


Obszar morskiej osłony hydrologicznej IMGW-PIB.

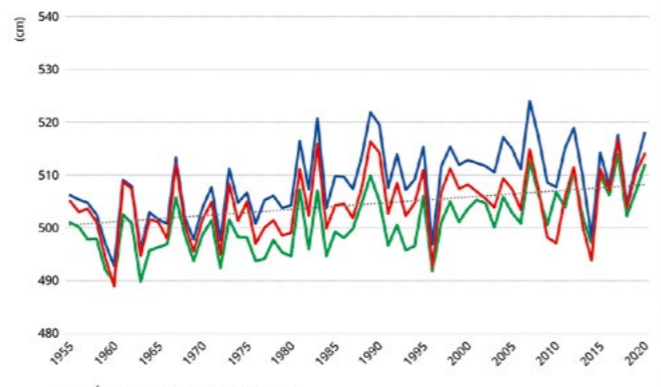
W przypadku bezodpływowego morza, jakim jest Bałtyk, niebagatelne znaczenie dla wszelkich aspektów zarówno hydrologicznych, jak i środowiskowych ma wiatr. Przykładowo długotrwałe wiatry z kierunków wschodnich powodują odpływ wody przez Cieśninę Duńskie, a w konsekwencji zmniejszenie się jej objętości w basenie morza i obniżenie jego poziomu. Z kolei utrzymujące się przez dłuższy czas wiatry z kierunków zachodnich są przyczyną wzrostu poziomu wody w Morzu Bałtyckim, czego wskaźnikiem jest tzw. parametr napełnienia Bałtyku, wyznaczany codziennie podczas rutynowej osłony hydrologicznej. Swoje konsekwencje ma również siła wiatru. Szybko przemieszczające się układy niżowe są często przyczyną silnych wiatrów z sektora północnego (NW-N-NE), powodujących w bardzo krótkim czasie gwałtowny wzrost poziomu Morza Bałtyckiego i zwiększenie zagrożenia powodziowego na wybrzeżu. Natomiast intensywny wiatr z południa prowadzi do obniżenia się poziomu wód i powstania bardzo niebezpiecznego dla żeglugi i pracy portów morskich zjawiska niżówki.

**Ekstremalna pogoda na Wybrzeżu.** Tereny przybrzeżne i ujścia rzek są nieustannie narażone na niszczące oddziaływanie morza, w tym na gwałtowne zjawiska hydrometeorologiczne i następstwa współczesnej zmiany klimatu. W konsekwencji wzdłuż całego polskiego wybrzeża Bałtyku, w różnej skali i intensywności, rośnie zagrożenie i ryzyko powodziowe. Niewątpliwie największym problemem są wezbrania sztormowe, które mogą powodować olbrzymie straty, zwłaszcza na terenach gęsto zaludnionych i wysoko zindustrializowanych. Utrudniają one prowadzenie żeglugi i zakłócają pracę portów (zrywanie cum, utrata stateczności itp.), a także stanowią poważne zagrożenie dla infrastruktury i brzegów morskich. Zimą zjawiska sztormowe powodują przesuwanie się lodu i blokowanie ujść rzecznych.

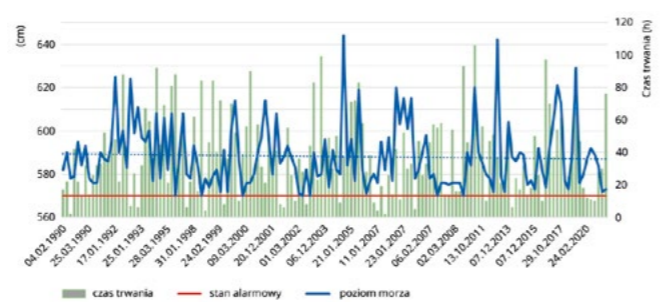
Prowadzone od lat badania wskazują na wzrost liczby i intensywności wezbrań sztormowych w polskiej strefie brzegowej. Przykładowo w Świnoujściu w latach 1950-1978 zaobserwowano 72 tego typu zdarzenia, a w okresie 1979-2000 aż 97. W ostatnim dwudziestolecu wezbrania sztormowe występowały na całym polskim wybrzeżu - 78 we Władysławowie, 76 w Świnoujściu i blisko 60 w Gdyni, Helu i Elblągu. Od 1955 roku również maksymalny



Maksymalne roczne poziomy morza w Świnoujściu i Gdańsku w okresie 1955-2020.



Średni roczny poziom morza z wielolecia 1955-2020.



Wezbrania sztormowe w Gdańsku w latach 1990-2020 - maksymalne poziomy morza i czasy trwania wezbrań.

i średni roczny poziom Morza Bałtyckiego. Bardzo ciekawa jest analiza maksymalnych stanów wody podczas kilkudziesięciu wezbrań sztormowych w Gdańsku Porcie Północnym wraz z czasem ich trwania. Dla blisko 20 proc. zdarzeń poziom morza przekroczył 600 cm (przy stanie alarmowym 570 cm), a dla ponad 30 proc. wszystkich wezbrań czas trwania przekroczył 50 godzin.

**Przygotowanie codziennej prognozy hydrologicznej.** Podstawą do wykonania prognozy jest wnikliwa ocena aktualnej sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej i możliwych przewi-

dywanych zmian tych warunków. Synoptyk hydrolog analizuje m.in. pola ciśnień nad Bałtykiem i północnym Atlantykiem, prognozę kierunku i prędkości wiatru w polskiej strefie brzegowej i na Bałtyku, dane o poziomach morza w polskiej strefie brzegowej z ostatniej doby, prognozę opadów nad północną Polską, pole temperatur, a w sezonie zimowym także sytuację lodową na morzu. Następnie, korzystając z wyników obliczeń modeli prognostycznych, a także na bazie własnego doświadczenia i znajomości procesów zachodzących na styku atmosfery i akwenów morskich, pracownik IMGW opracowuje synoptyczne prognozy hydrologiczne. Te wyniki z kolei determinują dalsze działania i są podstawą do podjęcia decyzji o ewentualnym wydaniu ostrzeżenia hydrologicznego lub też komunikatu o prognozowanych niskich poziomach morza.

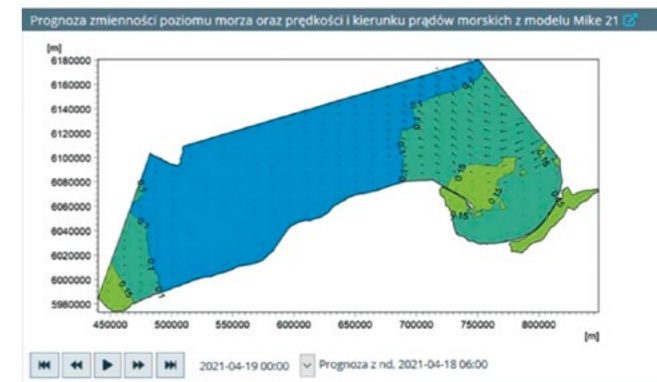
Bardzo ważną jest współpraca synoptyka hydrologicznego z jego odpowiednikiem w Centrum Osłony Meteorologicznej Kraju. Produkty meteorologiczne bowiem należą do podstawowych danych wejściowych przy opracowywaniu produktów hydrologicznych. Synoptyk dysponuje też określonym zestawem narzędzi prognostycznych - są to:

1. System Morskiej Hydrologii Operacyjnej (SMHO), służący do obliczania krótkoterminowych prognoz z wykorzystaniem jednowymiarowych modeli matematycznych Malińskiego i Wróblewskiego.
2. Dwuwymiarowy model hydrodynamiczny Mike 21.
3. Model operacyjny obejmujący ujściowy odcinek Wisły, uruchamiany w sytuacji zagrożenia hydrologicznego.

- **Metoda Malińskiego** służy do opracowania prognozy dla Gdyni, Helu, Świnoujścia, a także Szczecina i Trzebieży na Zalewie Szczecińskim. Danymi wejściowymi są tu m.in. rzeczywiste i prognozowane wartości ciśnienia atmosferycznego, kierunek i siła wiatru oraz bieżąca różnica temperatur między wodą a powietrzem. Metodą Malińskiego codziennie jest obliczane napełnienie Bałtyku, czyli parametr reprezentujący hipotetyczny poziom morza w warunkach brzegowych, tzn. stan, do którego dążyłby poziom wody wzdłuż wybrzeża w przypadku braku innych sił generujących jej ruch. Wartość napełnienia Bałtyku jest punktem odniesienia do prognoz krótkoterminowych.

- **Model statystyczno-numeryczny Wróblewskiego** (opracowany w Instytucie Oceanologii Polskiej Akademii Nauk) wykorzystuje jako dane wejściowe rzeczywiste poziomy wody wzdłuż polskiego wybrzeża oraz obserwowane i prognozowane wartości ciśnienia atmosferycznego w dwunastu punktach nad Bałtykiem. Model oblicza prognozę poziomów morza dla Gdyni, Helu i Świnoujścia na 72 godziny do przodu.

- **Dwuwymiarowy model hydrodynamiczny Mike 21** umożliwia numeryczne modelowanie zmian poziomów wody i przepływów w zatokach, ujściach rzek, akwenach morskich i przybrzeżnych. Dane wejściowe to operacyjne i prognostyczne poziomy morza na otwartych granicach modelu oraz ciśnienie atmosferyczne, kierunek i prędkość wiatru dla całego modelowanego obszaru z modeli numerycznych COSMO i ALARO. Model dwuwymiarowy zdecydowanie rozszerza możliwości opracowywania prognoz na morskich obszarach przybrzeż-



Przykład prognozy hydrologicznej z modelu Mike 21 HD.



Przykład synoptycznej prognozy hydrologicznej zamieszczanej w serwisie Monitor IMGW-PIB.

nych. Pozwala na wydłużenie czasu wyprzedzenia prognozy, jak również na obliczanie zmian poziomów wody w dowolnym punkcie rozważanego akwenu (tzn. w dowolnym węźle siatki). Wyniki symulacji mogą być przedstawiane z określoną przez użytkownika częstotliwością. Prognozy z modelu Mike 21 dla polskiej strefy brzegowej oraz osobno dla Zalewu Szczecińskiego są prezentowane codziennie w serwisie bałtyk.imgw.pl.

**Prognoza synoptyczna.** Finalnym efektem pracy synoptyka hydrologa jest prognoza synoptyczna dla wodowskazów morskich na 48 godzin z krokiem 3-godzinnym. Trafia ona do zdefiniowanych wcześniej odbiorców i jest umieszczana w serwisie Monitor IMGW-PIB, do którego dostęp mają uprawnieni użytkownicy. Codziennie opracowuje się też biuletyn hydrologiczny zawierający m.in. opisy zjawisk zaobserwowanych i pomierzonych w hydrosferze i atmosferze oraz prognozę hydrologiczną w formie tekstowej na najbliższy okres (zazwyczaj 18-72 godzin). W stanie zagrożenia hydrologicznego lub alarmu hydrologicznego, oprócz codziennej prognozy hydrologicznej, wydawane i dystrybuowane są dodatkowe komunikaty o bieżącej sytuacji hydrologicznej.

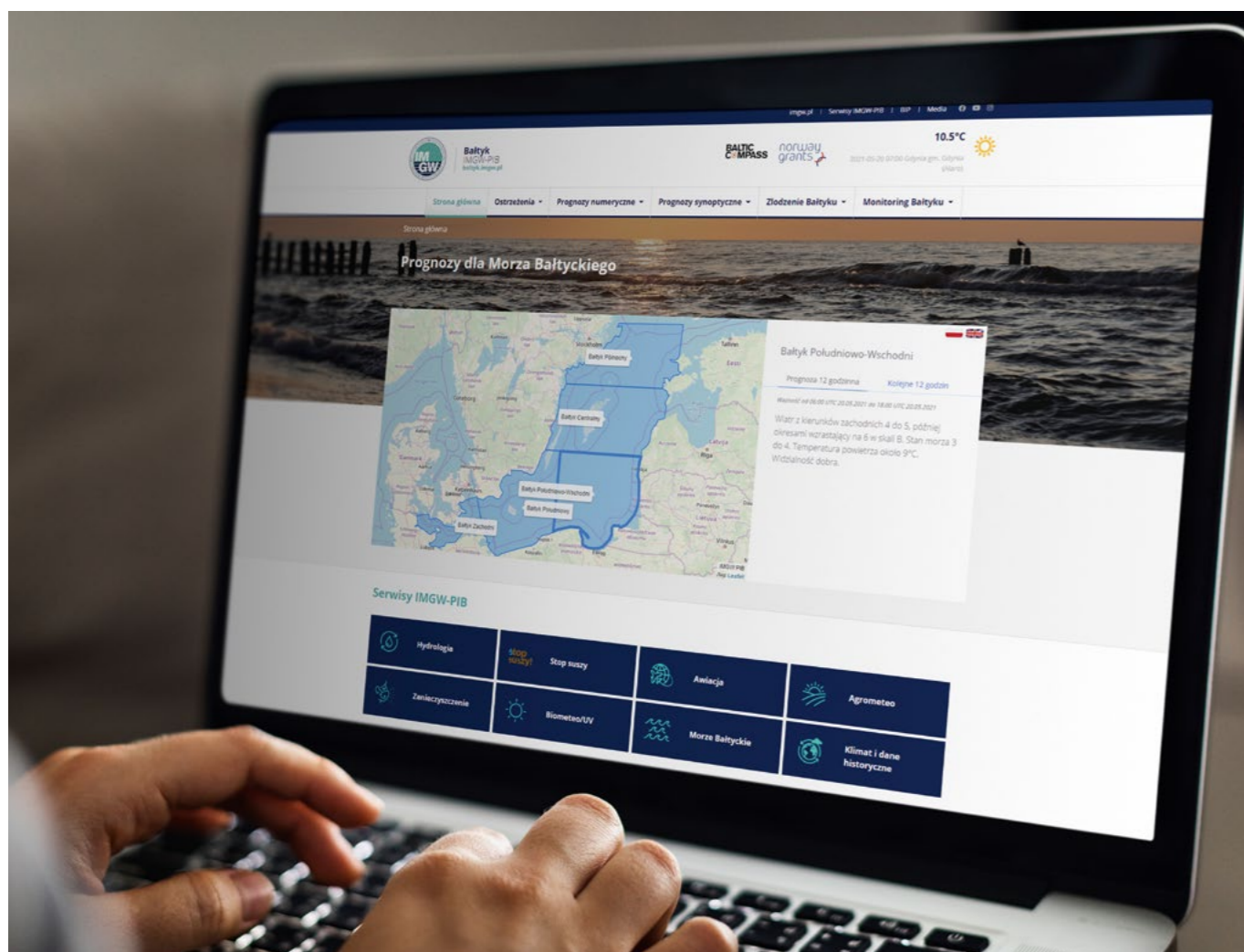
**BEATA KOWALSKA.** Absolwentka Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Gdańskiej, obecnie kierownik Wydziału Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Gdyni. Członkini zespołów projektowych i naukowo-badawczych, autorka ekspertyz w zakresie m.in. zmian poziomów morza, geny hydrologicznych i meteorologicznych katastrofalnych powodzi na wybrzeżu polskim, prognozowania krótkookresowych zmian poziomów morza, stanów i przepływów o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, zmian klimatycznych basenu Morza Bałtyckiego.

# Bałtyk na ekranie monitora

Anna Kubicka | IMGW-PIB/Centrum Hydrologicznej Osłony Kraju/Wydział Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Gdyni  
Krzysztof Piłczyński, Patryk Sapiega | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Oceanografii i Monitoringu Bałtyku

**Modelowanie procesów hydrodynamicznych, takich jak falowanie, prądy morskie i poziomy morza, odgrywa ważną rolę w analizie środowiska morskiego i jego oddziaływania, a także stanowi kluczowe narzędzie w prognozowaniu i ostrzeganiu przed niebezpiecznymi zjawiskami.**

**Aktualnie wykorzystywane w IMGW-PIB modele numeryczne, MIKE21, MIKE3D i SWAN, umożliwiają symulowanie, prognozowanie i wizualizowanie wielu parametrów, m.in. prędkości i kierunku prądów morskich w warstwie powierzchniowej oraz w kolumnie wody, poziomu morza, wysokości fali znacznej, kierunku propagacji fali, rozkładu przestrzennego parametrów fizykochemicznych i biologicznych.**



ekologiczna energia elektryczna pozyskiwana z fal morskich

możliwość uprawiania sportów wodnych i innych aktywności rekreacyjnych

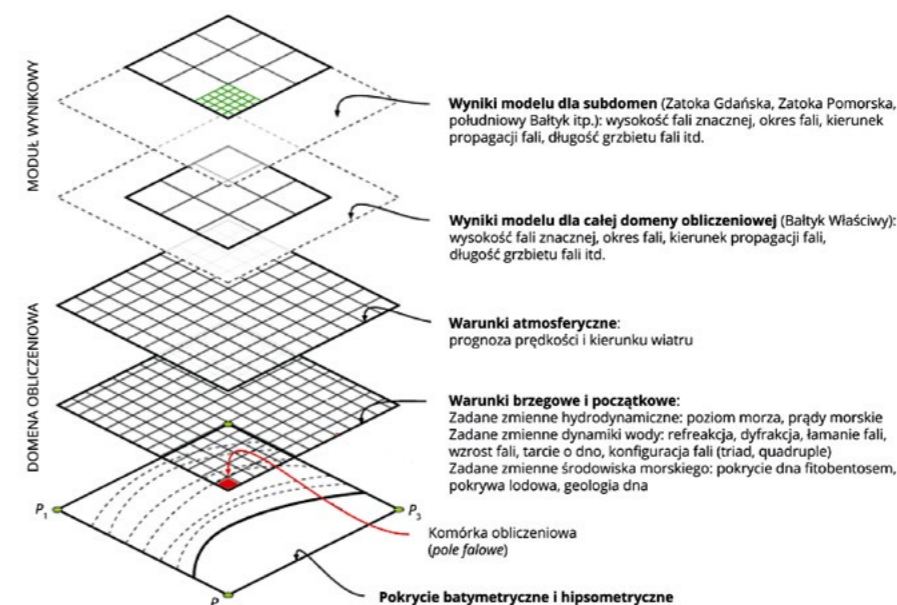
tworzenie cyklu obiegu tlenu w wodzie, wpływ na dystrybucję i koncentrację biogenów oraz na procesy sedimentacji strefy litoralu, w tym wyrzut bursztynu

erozja, abrazja powodująca „cofanie się brzegu”, wymuszając konieczność refulowania plaż

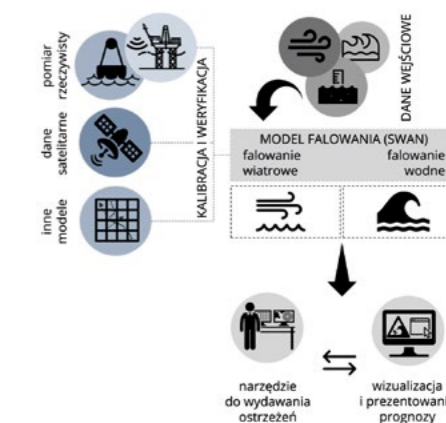
możliwe zniszczenia infrastruktury brzegowej, portów i nabrzeża

zagrożenie dla żeglugi morskiej i ludności miejscowości nadmorskich

Korzyści i skutki występowania ponadprzeciętnych wysokościowo fal morskich.



Schemat zasilania danymi modelu falowania SWAN (na podstawie TeXample.net).



Zastosowanie i tok postępowania w wydawaniu prognoz falowania.

W Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej prognozy morskie są opracowywane w Zakładzie Oceanografii i Monitoringu Bałtyku oraz w Biurze Prognoz Hydrologicznych. W procesach kalibracji i weryfikacji modelowania wykorzystuje się dane pomiarowe, satelitarne i asymilowane z innych modeli funkcjonujących w podobnej domenie obliczeniowej, a także dane pozyskiwane w ramach współpracy zagranicznej.

**Modelowanie parametrów falowania** stanowi istotne narzędzie w analizie środowiska morskiego i badaniu wpływu morza na strefę brzegową. Stosowany

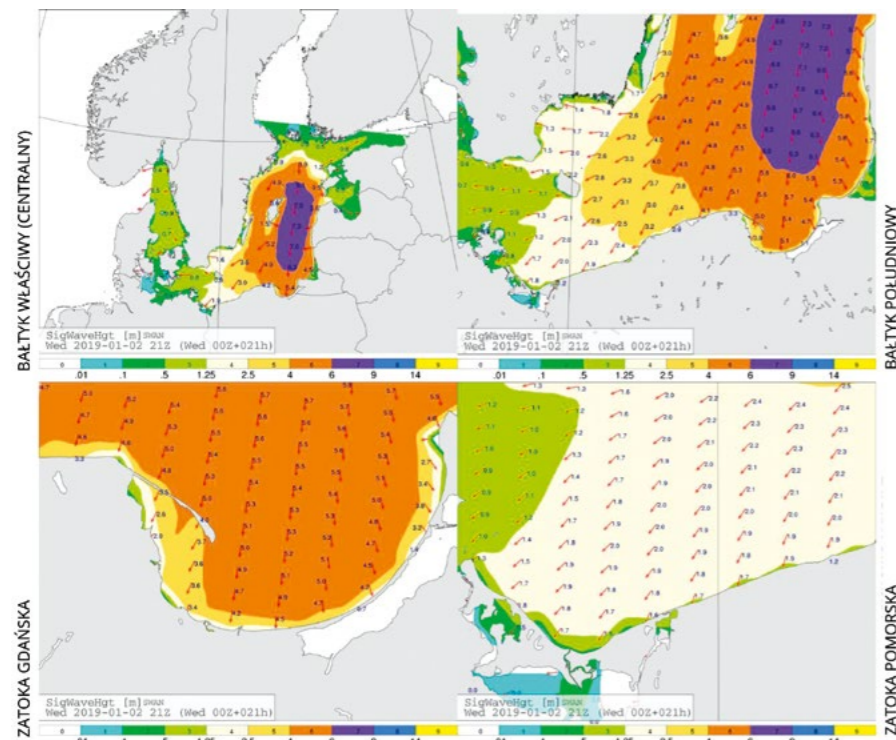
w IMGW-PIB model SWAN pozwala na prognozowanie kierunku i wysokości fali znacznej<sup>1</sup> oraz stanów morza według skali Douglasa. Poza wysokością fali znacznej istnieje możliwość symulacji innych parametrów falowania, takich jak okres fali, długość grzbietu fali, wysokość fali martwej (rozkołysu), oraz zmiennych związanych z energią, m.in. dyssypacji energii na skutek różnych czynników, np. pokrywy lodowej, fitobentosu lub morfologii dna. Model zasilają dane wejściowe - w tym pola wiatrowe pochodzące z modelu COSMO, batymetria dna morskiego, zadane wartości poziomów morza oraz zmienne związane z dynamiką falowania

(konfiguracja fal, indukowanie, wzrost, łamanie fali) - które są generowane i przetwarzane zgodnie ze strukturą plików odczytywanych przez oprogramowanie, a następnie obliczane w bloku wynikowym.

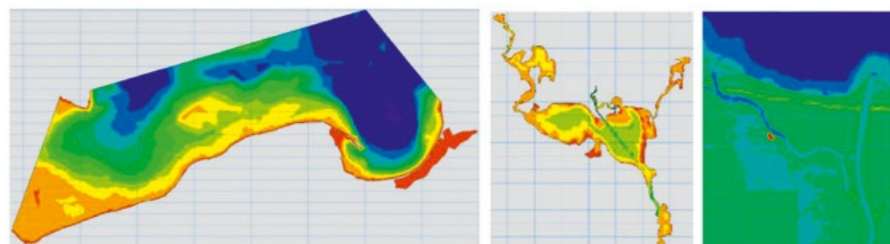
Uzyskane wyniki porównuje się z wartościami odczytanymi z urządzeń pomiarowych zainstalowanych na morzu (Zatoka Pomorska, platforma Petrobaltic), przy czym korzysta się także z danych satelitarnych i rezultatów z innych modeli (CMEMS, DWD). Po zweryfikowaniu i skalibrowaniu modelu prognozy są prezentowane w wewnętrznych i zewnętrznych serwisach IMGW. Dla synoptyków stanowią one podstawowe narzędzie do wydawania ostrzeżeń w różnych częściach Morza Bałtyckiego. Ponadto z tych prognoz mogą z powodzeniem

<sup>1</sup> Wysokość fali znacznej - w oceanografii fizycznej oznacza średnią wysokość 1/3 największych fal występujących w grupie fal w danym miejscu na oceanie/morzu, obserwowanych w określonym okresie.

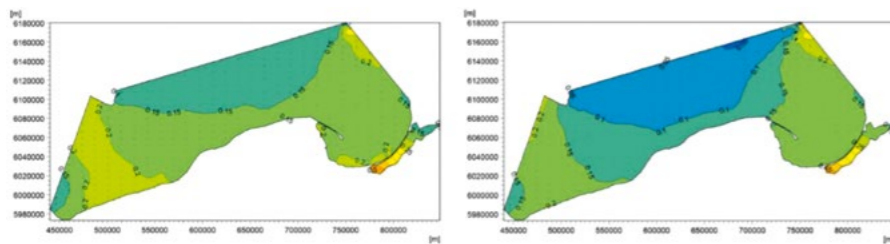




Obszary (subdomeny) objęte prognozą falowania w IMGW-PIB.



Ukształtowanie powierzchni dna – od lewej: część Bałtyku Południowego zawierająca polskie wybrzeże wraz z Zalewem Wiślanym; Zalew Szczeciński; ujściowy odcinek Wisły.



Surowe wyniki dwuwymiarowego modelu dla polskiej strefy brzegowej.

korzystać odbiorcy indywidualni w sektorze żeglugi, mieszkańcy nadmorskich miejscowości, inwestorzy i podmioty związane z pracami w strefie offshore i onshore. Każdy, kto wybiera się na pla-

żę, kąpielisko miejskie lub w rejs albo uprawia sporty wodne, może sprawdzić aktualną prognozę falowania w serwisie bałtyk.imgw.pl (prognozy numeryczne/SWAN).

**Modelowanie i prognozowanie zmian poziomów wody.** Aby prawidłowo modelować poziom wody w dowolnym akwenu, należy na wstępie rozpoznać siły wpływające na ten ruch. Po pierwsze są to masy powietrza, które w różnym stopniu oddziałują na zachowanie się powierzchni styku dwóch ośrodków: hydrosfery i atmosfery, po drugie - zmieniające się właściwości fizyczne wody, mające odzwierciedlenie w jej ruchu. Kolejnym czynnikiem jest dno akwenu, którego ukształtowanie, budowa i pokrycie, np. roślinnością, znacząco wpływają na kierunek i prędkość ruchu wody. Na końcu należy wspomnieć o istotnym wpływie przyciągania Słońca i Księżyca, które są odpowiedzialne za powstawanie pływów, a także o działaniu na masy wody siły Coriolisa.

Uwzględnivszy powyższe zależności, można przystąpić do budowy modelu. Aktualnie w IMGW, w codziennej pracy operacyjnej, korzysta się z trzech dwuwymiarowych modeli hydrodynamicznych, zbudowanych w oprogramowaniu MIKE: dla obszaru Zalewu Szczecińskiego, Bałtyku Południowego (zawierającego polskie wybrzeże wraz z Zalewem Wiślanym) i ujściowego odcinka Wisły. Prognoza jest liczona codziennie rano na kilka dni w przód z wykorzystaniem najnowszych dostępnych danych meteorologicznych (kierunek i prędkość wiatru, ciśnienie atmosferyczne) z dwóch numerycznych modeli meteorologicznych: COSMO i ALADIN. Surowe wyniki są dostępne w serwisie bałtyk.imgw.pl (prognozy numeryczne/MIKE 21).

Na podstawie wyników modelowania synoptyk hydrolog przygotowuje - dla wybranych punktów polskiego wybrzeża - codzienną prognozę synoptyczną i dokonuje analizy aktualnej i najbliższej sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej. W przypadku gdy modele wskazują na możliwość wystąpienia niebezpiecznego zjawiska, Biuro Prognoz Hydrologicznych wydaje Ostrzeżenie Hydrologiczne, które można śledzić w serwisach bałtyk.imgw.pl lub meteo.imgw.pl.

**Modelowanie parametrów fizykochemicznych i biologicznych.** Prognozy prądów morskich, temperatury wody, zasolenia, rozkładu i stężenia tlenu oraz zwią-

ków mineralnych przygotowuje się przy użyciu trójwymiarowego modelu hydrodynamicznego MIKE3D Flow Model FM - dla siatki nieregularnych punktów w dziesięciu warstwach, jak również we współrzędnych sigma. Model korzysta z zasymilowanych danych numerycznych poziomów morza, wartości przepływu oraz temperatury wody dla rzek Wisły i Redy, a także prognozy meteorologicznej zawierającej informacje o temperaturze powietrza, wilgotności względnej, zachmurzeniu, opadach, kierunku i prędkości wiatru. Surowe wyniki modelowania prądów morskich są generowane co 3 godziny (tj. o godzinie 9, 12, 15, 18, 21, 00, 3, 6 UTC), prognozy temperatury wody, stężenia zasolenia, azotanów, azotynów, tlenu i chlorofilu-a - raz na dobę (o godzinie 12 UTC).

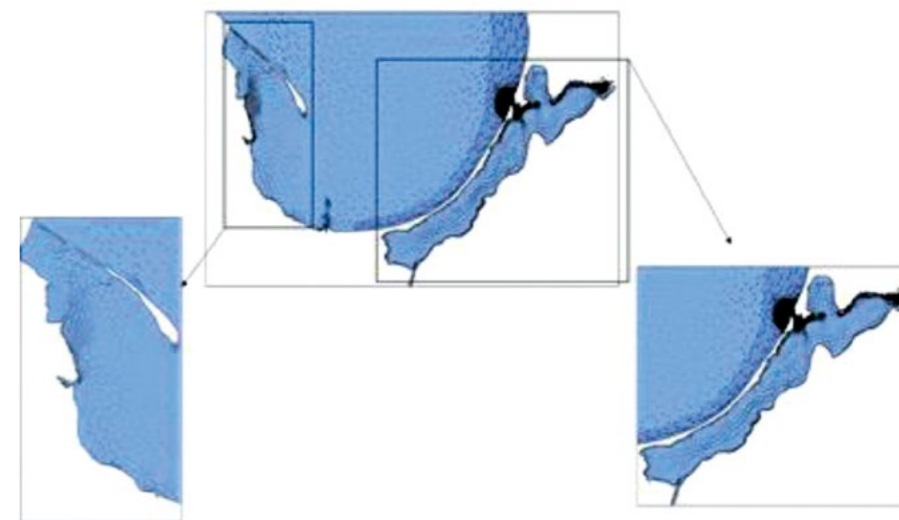
**ANNA KUBICKA.** Absolwentka Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego ze specjalizacją w zakresie oceanografii fizycznej. W IMGW-PIB od 2010 roku. Obecnie jest synoptykiem hydrologiem w Wydziale Prognoz i Opracowań Hydrologicznych w Gdyni. Realizuje zadania związane z osłoną morską i osłoną hydrologiczną w ramach Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej.

**KRZYSZTOF PIĘCZYŃSKI.** Absolwent Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego ze specjalizacją w zakresie fizyki morza i geologii morza. W IMGW-PIB od 2016 roku. Obecnie jest starszym specjalistą w Zakładzie Oceanografii i Monitoringu Bałtyku. Realizuje zadania w zakresie rozwijania systemu modelowania, zajmuje się także przygotowaniem i opracowywaniem prognoz numerycznych dla parametrów fizykochemicznych z wykorzystaniem modelu MIKE3D. Ponadto opracowuje oceanograficzne dane pomiarowe (temperatura, zasolenie, prądy morskie), zajmuje się też obróbką i raportowaniem danych hałasu podwodnego.

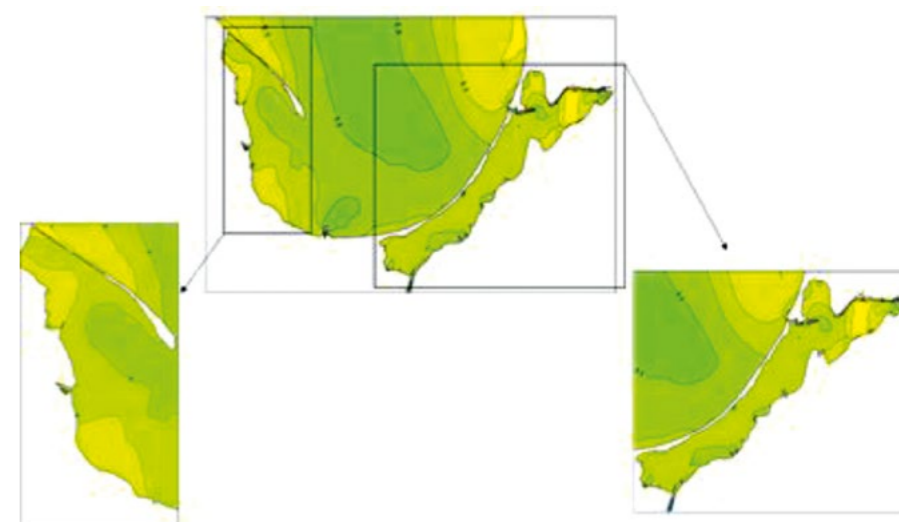
**PATRYK SAPIEGA.** Absolwent Wydziału Nauk Geograficznych i Geologicznych Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W IMGW-PIB od 2019 roku. Obecnie pracuje jako młodszy specjalista w Zakładzie Oceanografii i Monitoringu Bałtyku. Od lat związany z szeroko pojętą hydrosferą oraz modelowaniem numerycznym wód powierzchniowych i ich oddziaływaniem na inne składowe środowiska, w szczególności morskiego. Realizuje zadania w zakresie oceanografii fizycznej. Pracuje z modelem falowania SWAN, stanowiącym narzędzie wydawania prognoz i ostrzeżeń w MBPM.



Ostrzeżenie Hydrologiczne wydane na podstawie analizy sytuacji hydrologiczno-meteorologicznej oraz wyników modelu hydrodynamicznego (meteo.imgw.pl).



Przykład prognozy prądów morskich w obszarze Zatoki Gdańskiej, Zatoki Puckiej i Zalewu Wiślanego.



Przykład prognozy temperatury w obszarze Zatoki Gdańskiej, Zatoki Puckiej i Zalewu Wiślanego.

# Morskie stacje meteorologiczne

Bartosz Zakrzewski | IMGW-PIB/Centrum Hydrologiczno-Meteorologicznej Sieci Pomiarowo-Obszerwacyjnej/Zespół Serwisu Morskiego

**Pomiary i obserwacje, będące podstawą prognoz i ostrzeżeń wydawanych dla polskich obszarów morskich i strefy brzegowej, spływają ze stacji rozmieszczonych na wybrzeżu Morza Bałtyckiego. O ile sieć stacji na lądzie jest dość bogata i zróżnicowana pod względem programów pomiarowych, o tyle akwen polskiej strefy ekonomicznej był białą plamą na mapie sieci pomiarowej IMGW-PIB. W 2008 roku zainstalowano pierwszą „stałą” stację na platformie wydobywczej Baltic Beta. W kolejnych latach kontynuowano program rozbudowy sieci opartej na bojach meteorologicznych, a także systemu odpowiedniego wsparcia serwisowego.**



for Marek Pienicki on Unsplash

Baltic Beta znajduje się 73 Mm na północ od przylądka Rozewie. Platforma wydobywcza, należąca do grupy Lotos, stanowi centrum produkcyjne dla złoża ropy naftowej B-3. Pierwsze urządzenia pomiarowe Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej zamontowano w 2008 roku na południowej nodze platformy. Siedem lat później stację pomiarową rozbudowano o dopplerowski prądomierz akustyczny AWAC, który pozwala monitorować prądy morskie i falowanie na akwenie Bałtyku Południowo-Wschodniego. Zainstalowano również radarowy miernik falowania RADAC rejestrujący w czasie rzeczywistym parametry falowania. Dane są przesyłane co godzinę w postaci depeusz zgodnych ze standardem dla ASS. Przez kilka lat Baltic Beta pozostawała jedyną stacją IMGW zlokalizowaną na pełnym morzu. W końcu podjęto działania



Morska platforma wydobywcza Baltic Beta.



Morskie boje meteorologiczne IMGW-PIB – szkolenie pracowników w zakresie obsługi i serwisu przed wystawieniem na morzu.



Boja meteorologiczna IMGW-METEO 3 na pozycji 55°14'15"N; 19°01'15"E.

mające na celu rozszerzenie systemu pomiarowego na Bałtyku.

**Morskie boje meteorologiczne IMGW-PIB.** W 2015 roku w ramach projektu MeteorRisk rozpoczęto budowę instytutowego systemu do pomiarów całorocznych w trybie ciągłym. Bazą dla aparatury monitorującej są boje o konstrukcji stalowej, zakotwiczone za pomocą stałych kotwic (o wadze 3,2 t każda), boi kotwicznych i łańcuchów manganowych. System kotwiczny zapobiega obracaniu się boi pomiarowej i utrzymuje ją na pozycji. Wewnątrz boi zainstalowany jest rejestrator sterujący procesem zapisu i przesyłania danych, modem satelitarny, sterowniki zasilania oraz akumulatory. Na maszcie znajdują się czujniki pomiarowe, lampa nawigacyjna, reflektor radarowy, anteny nadawczo-odbiorcze GPS i Iridium, a także panele fotowoltaiczne i generatory wiatrowe systemu zasilania. System pomiarowy pozwala rejestrować prędkość i kierunek wiatru, ciśnienie atmosferyczne, temperaturę i wilgotność powietrza oraz temperaturę wody. Pozyskane dane zasilają modele meteorologiczne, służą też synoptykom przygotowującym prognozy morskie. Obecnie IMGW dysponuje trzema stałymi bojami na morzu i jedną zapasową na lądzie.

**Serwis na morzu.** Urządzenia pomiarowe, zwłaszcza na morzu, pracują w niezwykle trudnych warunkach. Na-

rażone są na silną korozję, działanie słonego aerozolu, który jest zabójczy dla układów elektronicznych, czy chociażby sztormy. Żywotność i dokładność aparatury zależy od regularnego serwisowania, którym w IMGW-PIB zajmuje się Zespół Serwisu Morskiego. Dysponuje on szybką łodzią typu RIB, która umożliwi dotarcie w ciągu 3 godzin do poszczególnych boi z najbliższego dla danej lokalizacji portu morskiego. Prace serwisowe muszą być dobrze zaplanowane, ponieważ zmienna aura na Morzu Bałtyckim i krótka, stroma fala sprawiają, że odpowiednie warunki do wykonania przeglądu i niezbędnych napraw zdarzają się rzadko. Dobicie do boi i bezpieczne dostanie się na nią jest możliwe przy fali nie wyższej niż 0,5 m i prędkości wiatru nieprzekraczającej 5 m/s.

Serwis boi przeprowadza się raz na kwartał lub w razie awarii. Podczas prac sprawdzane są wszystkie systemy boi, jej stan techniczny, szczelność komory centralnej, kondycja elementów systemu kotwicznego itd. Serwisy awaryjne zazwyczaj są związane z uszkodzeniami posztormowymi systemu zasilania (wyrwanie paneli fotowoltaicznych, usterka generatorów wiatrowych) lub uszkodzeniami pokolizyjnymi (zniszczenie lub uszkodzenie masztu wraz z zainstalowanymi na nim urządzeniami).

Niezależnie od tego, czy awaria wystąpiła w wyniku sztormu, czy uszkodzenia przez



Ostatnia faza rozstawiania boi, tj. rozciąganie systemu kotwicznego i opuszczanie drugiej kotwicy. Na rufie statku na bramownicy podczepiona kotwica gotowa do opuszczenia.

jednostkę pływającą, może to oznaczać konieczność wymiany boi na zapasową. Tego rodzaju operacje są kosztowne, wymagają bowiem wynajęcia statku zdolnego do przewozu lub holowania i przepięcia systemu kotwicznego, a także niełatwe w realizacji ze względu na pogodę. Tak jak przy standardowym serwisie, tak i przy wciąganiu i wodowaniu boi ograniczają nas falowanie i wiatr.

Obecnie liczba kolizji statków z bojami spadła niemal do zera. Znacznie częstsze są uszkodzenia spowodowane sztormami, których liczba i intensywność w ostatnich latach rosła w następstwie m.in. zmiany klimatu. Pomimo zdarzających się awarii boje pracują nadspodziewanie dobrze. Trafne założenia w procesie projektowania systemu, uwzględniające wymagające warunki pracy na pełnym morzu, oraz późniejsze modernizacje przeprowadzane na bazie doświadczeń z wieloletniej eksploatacji boi zaowocowały stworzeniem niezawodnego i trwałego systemu pomiarów meteorologicznych. Tak dobre wyniki pracy obecnego systemu oraz zapotrzebowanie na szersze spektrum danych daje podstawy do rozbudowy i modernizacji specjalnej sieci pomiarów morskich.

**IMGW zbuduje unikalny system pomiarowy.** W najbliższych latach w ramach projektu Banku Światowego planowane są dwa zadania, które usprawnią i poszerzą zakres monitoringu Morza Bałtyckiego pro-

wadzone w Instytucie. Pierwszym krokiem będzie rozbudowa systemu pomiarowego prądów morskich i falowania, co pozwoli na lepsze modelowanie i prognozowanie tych parametrów. To zrozumiały krok, falowanie bowiem - jego kierunek, wysokość i częstotliwość - ma zasadniczy wpływ na wszelkie przejawy działalności człowieka na morzu i w strefie brzegowej. Transport, rybołówstwo, energetyka wiatrowa, sport, rekreacja, turystyka i wypoczynek to tylko niektóre z gałęzi gospodarki, dla których wysokiej jakości prognozy morskie mają zasadnicze znaczenie. Aby sprostać tym wymaganiom, zamontowane w strefie głębokowodnej Morza Bałtyckiego boje IMGW zostaną wyposażone w mierniki prądów i falowania. Natomiast od podstaw planowana jest budowa sieci mniejszych boi w strefie płytkowodnej, a także boi dryfujących do okresowych pomiarów falowania.

Do obsługi tak zaawansowanego systemu konieczna będzie odpowiednia jednostka pływająca. Jej projekt i budowa to kolejne zadanie realizowane w ramach projektu Banku Światowego. Ma to być katamaran o wymiarach 17 m x 9 m, którego konstrukcja pozwoli realizować większość niezbędnych prac związanych z obsługą serwisową systemu pomiarów morskich. Katamaran będzie wyposażony przede wszystkim w podnośnik rufowy, umożliwiający unieruchomienie i zintegrowanie serwisowanej na morzu boi ze statkiem, a następnie wykonanie niemal wszystkich napraw na morzu, bez konieczności transportu uszkodzonej czy niesprawnej boi na ląd. Parametry jednostki - autonomia pływania określona na minimum cztery doby, prędkość marszowa na poziomie 15 węzłów i zasięg 400 Mm - pozwolą na swobodny dostęp do wszystkich boi IMGW i zapewnią załodze odpowiedni komfort pracy. W wyposażeniu katamaranu znajdzie się również ramię hydrauliczne umożliwiające obsługę mniejszych boi, które będą transportowane i wodowane z pokładu roboczego. Istotną częścią projektu jest pojazd podwodny niezbędny do inspekcji systemu kotwicznego boi i obsługi czujników falowania rozmieszczonych na dnie.

W pracy na morzu niezależność i dyspozycyjność ludzi oraz sprzętu mają zasadnicze znaczenie dla powodzenia jakichkolwiek operacji morskich. Zadania realizuje się zazwyczaj przy sprzyjających warunkach



„Hydromet” – wodowanie w Ustce.



Wizualizacja jednostki IMGW-PIB do obsługi systemu morskich boi meteorologicznych.

hydrometeorologicznych, w tzw. oknach pogodowych, które są krótkie, nieregularne i rzadkie. Tymczasem dostępność specjalistycznych jednostek, zdolnych do obsługi boi meteorologicznych, jest na rynku znikoma. Posiadanie własnej przystosowanej do obsługi systemu pomiarowego łodzi pozwoli IMGW realizować większość prac serwisowo-naprawczych i przeglądowych we własnym zakresie - niezależnie od dostępności wykonawców zewnętrznych.

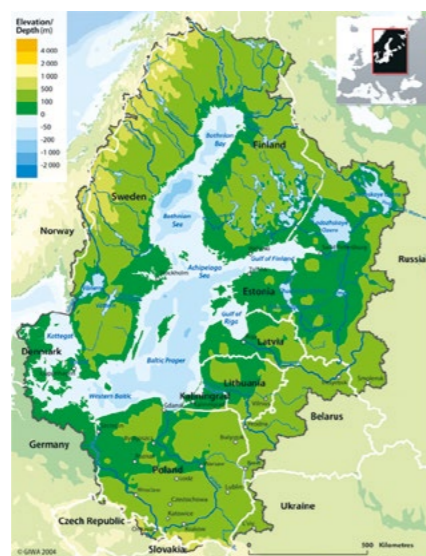
**BARTOSZ ZAKRZEWSKI.** Absolwent Wydziału Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego ze specjalizacją w zakresie limnologii. W IMGW-PIB od 2004 roku. Obecnie główny specjalista koordynator Zespołu Serwisu Morskiego w Biurze CHMSPO w Gdyni. Zajmuje się organizacją i realizacją prac związanych z osłoną morską w zakresie utrzymania specjalnego morskiego systemu pomiarowego w ramach Państwowej Służby Hydrologiczno-Meteorologicznej. Skipper łodzi serwisowej „Hydromet”.

# Czy Bałtyk może być ciepłym morzem?

Michał Marosz | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Meteorologii, Klimatologii i Ochrony Atmosfery

**W opinii publicznej dominuje pogląd, że współczesna zmiana klimatu uczyni z Bałtyku drugie Morze Śródziemne. Głębsza analiza procesów zachodzących w środowisku powinna jednak znacznie ostudzić naszą wyobraźnię, ponieważ spodziewany wzrost temperatury powietrza nie zamieni polskiego wybrzeża w grecką plażę. Co gorsza, powinniśmy się raczej spodziewać wzrostu zagrożeń takich jak sztormy i powodzie, a także postępującej destabilizacji ekosystemów morskich w wyniku działalności człowieka.**

Wiek Morza Bałtyckiego ocenia się na blisko 12 tys. lat - to jeden z najmłodszych akwenów Oceanu Atlantyckiego. Jego powstanie jest związane z ostatnią epoką lodowcową, kiedy to na terenie Fennoskandii<sup>1</sup> zmienna dynamika wycofującego się lądolodu wraz z ruchami izostatycznymi kilkakrotnie zmieniały charakter morza, powodując albo utratę, albo powstanie bezpośredniego połączenia z oceanem. Mniej więcej 10 tys. lat temu zakończył się pierwszy etap ewolucji Bałtyku, gdy przed czołem cofającego się lądolodu skandynawskiego powstało płytkie Bałtyckie Jezioro Lodowe. W kolejnych tysiącletniach, w wyniku topnienia lodowca, poziom wody w akwenu znacznie się podniósł. Bałtyk uzyskał połączenie z Morzem Północnym i rozpoczął się okres tzw. Morza Yoldiowego. Po całkowitym ustąpieniu zlodowacenia w wyniku podnoszenia się Fennoskandii morze po raz kolejny zostało odcięte od Atlantyku i stało się Jeziorem Ancylusowym. W czwartej fazie rozwoju (4-8 tys. lat temu) Bałtyk przybrał znany nam współcześnie charakter i wygląd. Zasilany wodami resztek lądolodu skandynawskiego, ostatecznie połączył się z Morzem Północnym. Napływ wód oceanicznych

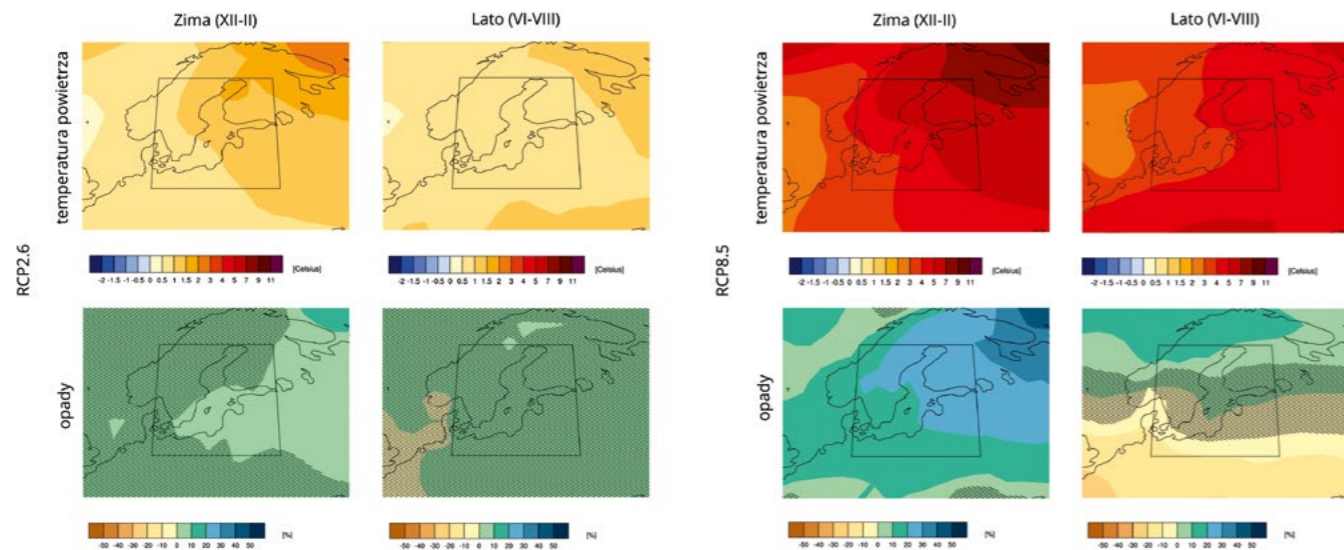


Zlewisko Morza Bałtyckiego  
(źródło: Global International Waters Assessment (GIWA), published by HELCOM).

spowodował wzrost zasolenia i rozwój flory i fauny słonowodnej. Okres ten, nazywany Morzem Litorynowym, zakończył się około 4 tys. lat temu. Wówczas Cieśniny Duńskie uległy zwężeniu, co znacznie zmniejszyło wymianę wód między akwenami. Rozpoczęło się trwające do



<sup>1</sup> Tarcza kontynentalna na północy kontynentu europejskiego, obejmująca tereny południowej Norwegii, Szwecji, Finlandii i Półwyspu Kolskiego (Rosja).

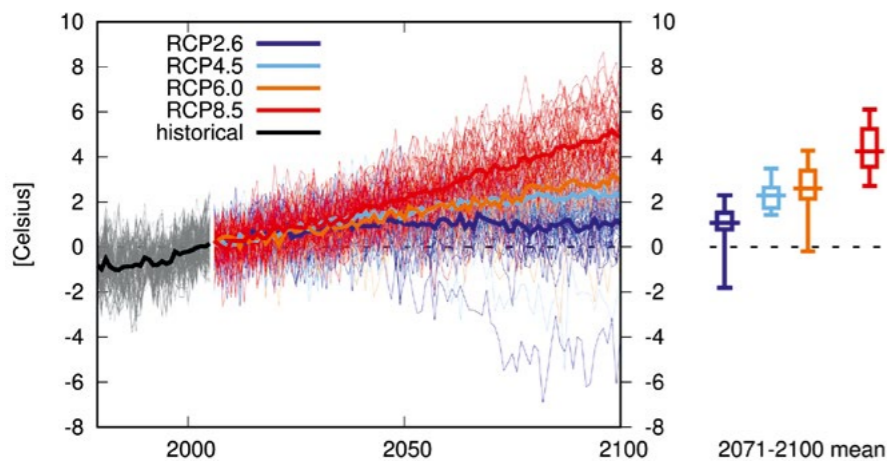


Zmiana (względem okresu 1991-2020) wartości temperatury powietrza (°C) oraz opadu (%) dla obszaru Morza Bałtyckiego (źródło: KNMI Climate Change Explorer, [https://climexp.knmi.nl/plot\\_atlas\\_form.py](https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py)).

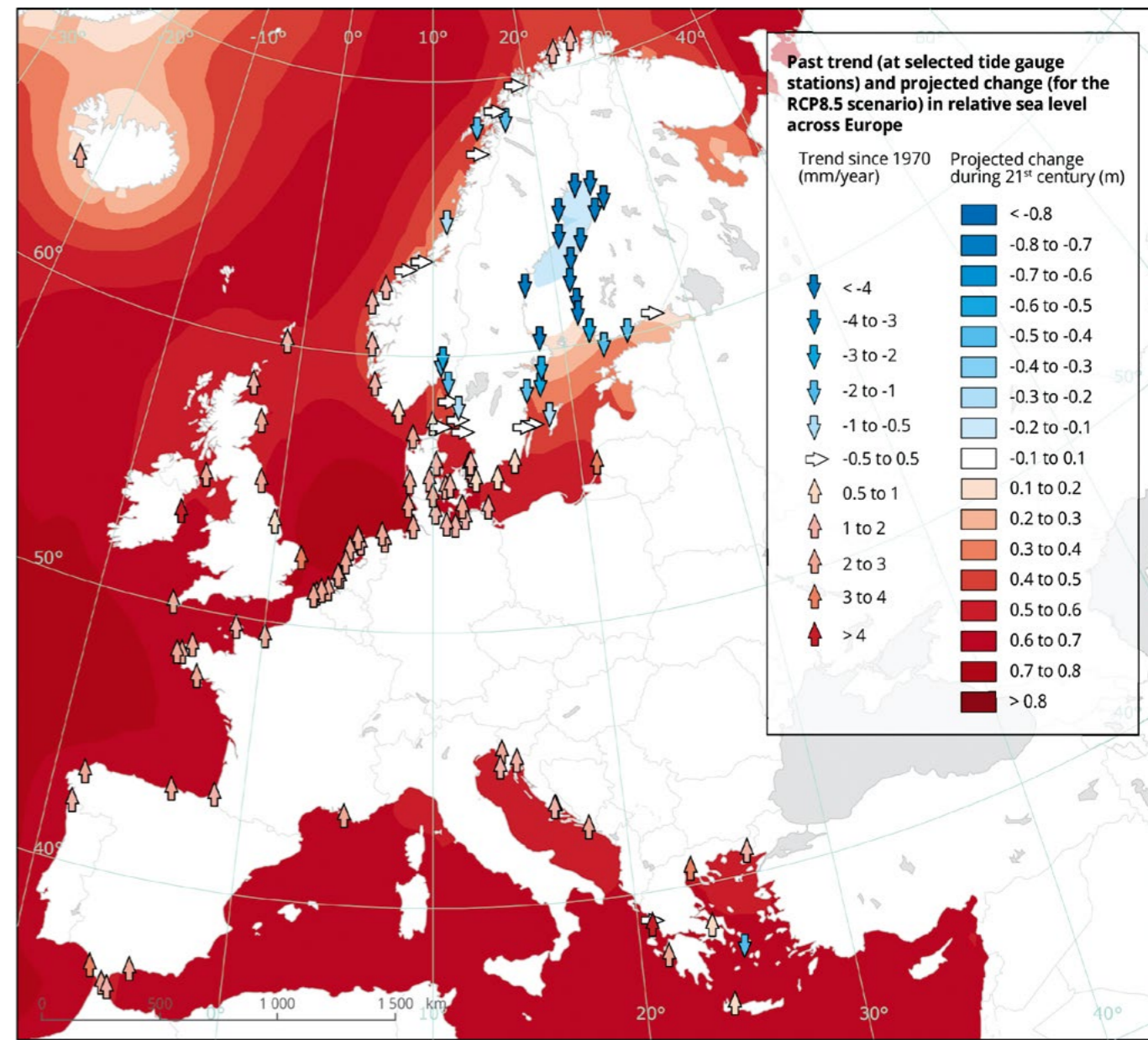
*BAŁTYK I JEGO ŚRODOWISKO CZEKAJĄ ZMIANY – W PRZYPADKU TERMIKI I POZIOMU MORZA BĘDĄ TO ZMIANY NIEMAL PEWNE. WIĘKSZOŚĆ ANALIZ WSKAZUJE NA ZWIĘKSZAJĄCĄ SIĘ ROLĘ ANTROPOPRESJI W BASENIE MORZA BAŁTYCKIEGO, CO W POŁĄCZENIU ZE SPODZIEWANĄ ZMIANĄ KLIMATU OZNACZA DAJSZY WZROST ZAGROŻENIA EUTROFIZACJĄ. NIEWIELKIE ZASOLENIE, SŁABA WYMIANA WÓD Z OTWARTYM OCEANEM I NASILENIE ANTROPOPRESJI PRZY BRAKU DZIAŁAŃ MITYGACYJNYCH MOŻE SIĘ SKOŃCZYĆ POWSTANIEM CIEPLEJSZEGO NIŻ OBECNIE MORZA, JEDNAK ZNACZNIE SILNIEJ ZANIECZYSZCZONEGO. WIZJĘ TRANSFORMACJI MORZA BAŁTYCKIEGO W COŚ NA KSZTAŁT ADRIATYKU MOŻEMY WŁOŻYĆ MIĘDZY BAJKI.*

dziś stadium rozwoju Bałtyku o niskim zasoleniu, zwane Morzem Mya.

**1000 lat - różny klimat.** W ostatnim milenium można wyróżnić cztery okresy klimatyczne, które zaznaczyły się w obszarze Morza Bałtyckiego: w latach 900-1350 - ciepły okres średniowiecza (ang. Medieval Warm Period), 1350-1550 - okres przejściowy (ang. Transitional Period), 1550-1850 - małą epokę lodową (ang. Little Ice Age), od roku 1850 - współczesny okres ciepły (ang. Contemporary Warm Period). Do XIV wieku klimat Morza Bałtyckiego był względnie stabilny i dość ciepły - temperatury w sezonie ciepłym (maj-wrzesień) przekraczały te z końca XX wieku o wartość około 0,5°C. W okresie przejściowym warunki klimatyczne były bardzo zmienne. Średnia temperatura powietrza spadła o mniej więcej 1,2°C i w kolejnych latach ten trend się pogłębiał, co zapoczątkowało małą epokę lodową. W jej trakcie występowały naprzemiennie lata ciepłe i chłodne, przy czym wyraźnie dłuższe epizody chłodu przypadły w pierwszej połowie XVII i XVIII wieku. Warunki klimatyczne w omówionych okresach nie były oczywiście jednolite dla całego obszaru zlewiska Bałtyku. Obserwowano krótsze fluktuacje ciepło/zimo i sucho/wilgotno, na które znaczny wpływ miały zależności regionalne.



Spodziewana zmiana temperatury powietrza (°C) w XXI wieku w basenie Morza Bałtyckiego (10-30E, 53-66N) względem wielolecia 1991-2020 (źródło: KNMI Climate Change Explorer, [https://climexp.knmi.nl/plot\\_atlas\\_form.py](https://climexp.knmi.nl/plot_atlas_form.py)).



Reference data: ©ESRI

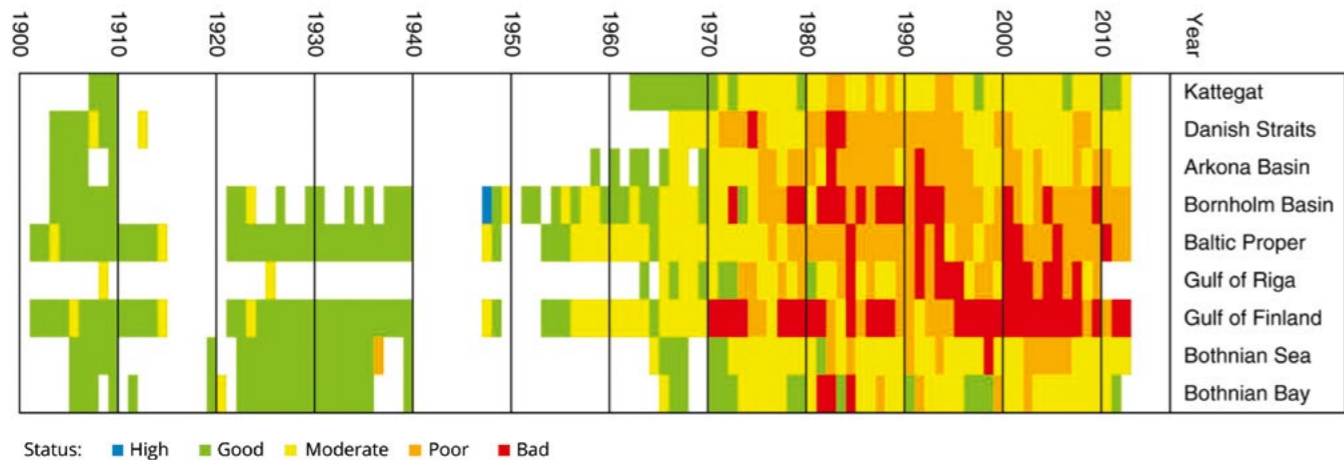
Trendy (mm/rok) i prognozowane zmiany względnego poziomu morza w Europie (źródło: EEA, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/sea-level-rise-7/assessment>).

**Ciepły wiek XIX i XX.** W okresie 1861-2000 temperatura powietrza w basenie Morza Bałtyckiego wzrosła o 0,11°C/10 lat (na północ od 60°N) oraz 0,08°C/10 lat (na południe od 60°N), podczas gdy wartość globalna wyniosła 0,05°C/10 lat. Analiza wartości współczynników trendu na polskim wybrzeżu Bałtyku wskazuje, że zmiany te znacznie przyspieszyły. Od 1951 do

2020 roku temperatura powietrza w tym rejonie wzrastała o 0,29°C/10 lat. Głównym czynnikiem kreującym klimat Morza Bałtyckiego jest zmienność cyrkulacji atmosferycznej nad północnym Atlantykiem, przejawiająca się w różnej intensywności wpływu zachodniego, odzwierciedlanej indeksem NAO. W ostatnim dwudziestolecu XX wieku, gdy wartości tego indeksu były

wysokie, zimy na południowym wybrzeżu Morza Bałtyckiego były wilgotne i ciepłe, ze zwiększoną liczbą sztormów.

Generalnie zaobserwowano przesunięcie się szlaków układów niżowych w kierunku północnym oraz zwiększoną aktywność cyklonów pozazwrotnikowych. Nie przełożyło się to na długookresowe trendy w zmienności warunków wietrznych,



Poziom eutrofizacji akwenów Morza Bałtyckiego (źródło: <https://doi.org/10.1111/brv.12221>).

choć parametry anemologiczne ulegają dużym wahaniom dekadowym. Sumy opadów nie uległy znacznym zmianom. Zwiększa się natomiast czas ich trwania (pada rzadziej, ale dłużej), a także prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń o ekstremalnie wysokich sumach opadów.

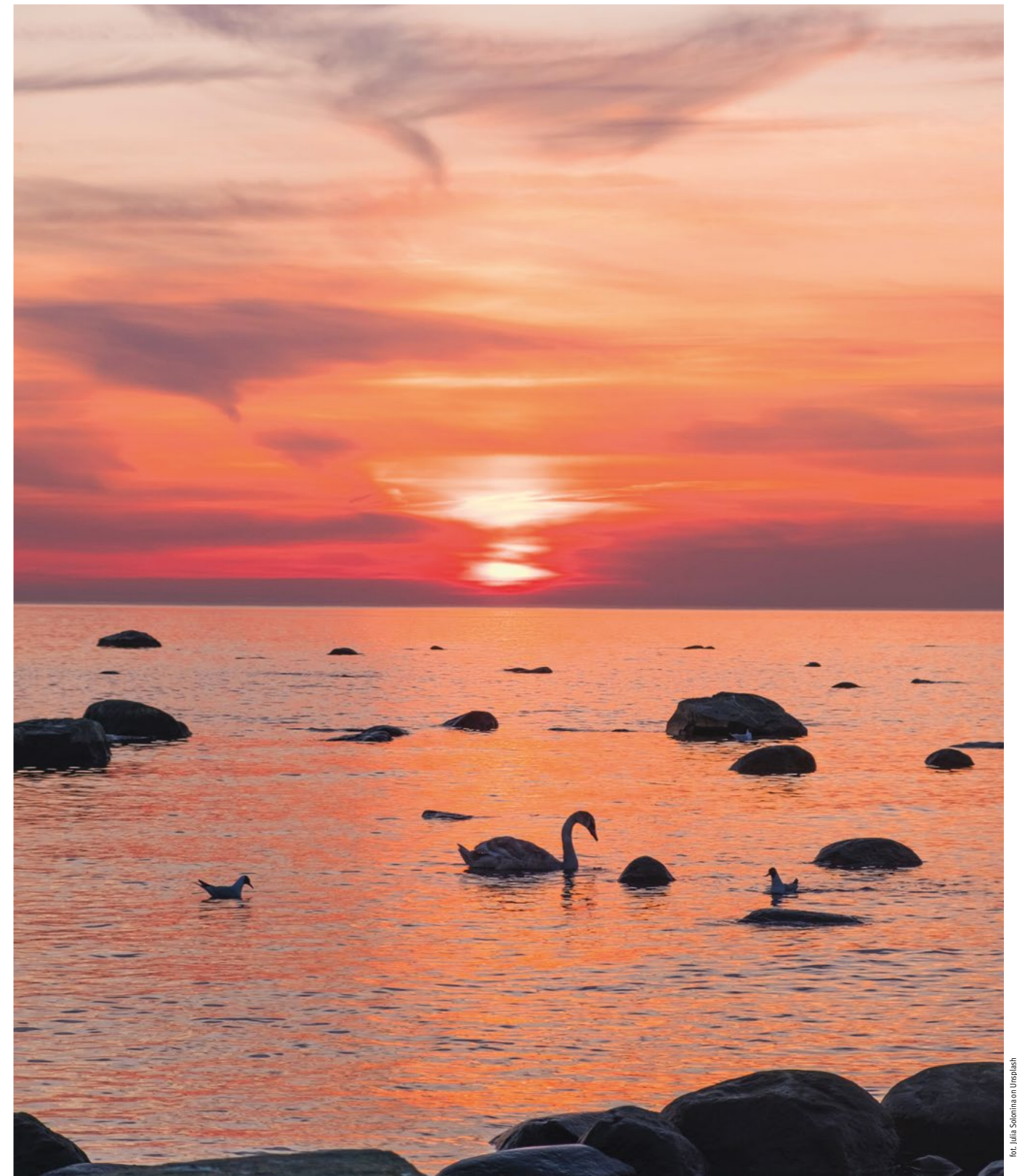
**Współcześnie obserwowana zmiana klimatu nie omija Bałtyku.** Scenariusze zmiany klimatu w obszarze Morza Bałtyckiego jednoznacznie wskazują na wzrost średniej rocznej temperatury powietrza w XXI wieku - w przypadku najkorzystniejszego wariantu RCP2.6 o 1°C, dla skrajnie negatywnego RCP8.5 - aż o 5°C. W sezonie zimowym największego ocieplenia można się spodziewać na północy i wschodzie akwenu (tam średnia temperatura powietrza może przekroczyć średnią globalną), natomiast latem - w części południowej. Scenariusze wskazują również na niewielkie zwiększenie się sumy opadów zimowych (nie przełoży się to jednak na wzrost średniej grubości pokrywy śnieżnej) i zmniejszenie się ilości opadów letnich na południu. Możliwe zmiany w zakresie warunków anemologicznych nie są jednoznaczne; większość projekcji pokazuje nieznaczny wzrost średniej prędkości przepływu powietrza nad Morzem Bałtyckim. Temperatury ekstremalne minimalne (zimną) i maksymalne (latem) będą wzrastać szybciej niż średnie, co sugeruje zmniejszenie zakresu zmienności w sezonie chłodnym oraz jego zwiększenie latem. Jeżeli zaś chodzi o sam Bałtyk, scenariusze

klimatyczne przewidują wzrost temperatury wody, zmniejszanie się pokrywy lodowej i spadek zasolenia będący pokłosiem zwiększonego opadu i odpływu rzecznoego. Sezonowa struktura odpływu będzie modyfikowana przez zmiany w opadzie i szybsze topnienie śniegu.

**Globalna zmiana poziomu morza a Morze Bałtyckie.** Przewidywany przez specjalistów wzrost poziomu Morza Bałtyckiego waha się w granicach 0,6-1,1 m, ale predykcje te są obciążone dużą niepewnością. W ostatnich latach pojawiło się kilka publikacji, których autorzy sugerują, że wzrost poziomu morza w XXI wieku może być znacznie niedoszacowany. Europejska Agencja Środowiskowa (EEA) w raporcie z 2020 roku wskazuje, że przy założeniu szybszej dezintegracji czap polarnych wzrost poziomu mórz w Europie na koniec XXI wieku może wynieść nawet 2,4 m. Ponieważ obserwowane dla Bałtyku trendy są zgodne ze zmianami globalnymi, również w tym akwenu można się spodziewać większych wzrostów. Co istotne, wraz ze wzrostem poziomu Morza Bałtyckiego zwiększa się częstość występowania na nim wozbrań sztormowych. Zjawisko to może być w najbliższych dziesięcioleciach głównym zagrożeniem naturalnym dla polskiego wybrzeża. Obecnie obserwowane tempo zmian poziomu Bałtyku wynosi od 1,82 cm/10 lat w Świnoujściu do 2,12 cm/10 lat we Władysławowie.

**Największym problemem czło-wiek?** Znaczny udział przemysłu i rolnictwa w gospodarce krajów zlewiska Bałtyku, jak również mało intensywna wymiana wód z Oceanem Atlantyckim sprawiają, że Morze Bałtyckie jest szczególnie narażone na antropopresję, zwłaszcza w postaci eutrofizacji. Szacuje się, że obecnie na powierzchni około 49 tys. km<sup>2</sup> występują niedobory tlenu w warstwie przydennej, a niektóre prognozy mówią o możliwości podwojenia się tego obszaru. Analiza poszczególnych akwenów Bałtyku jednoznacznie wskazuje na znaczne pogorszenie się warunków środowiskowych w niemalże wszystkich rejonach morza. Zważywszy na niewielkie możliwości samooczyszczania się Bałtyku, obraz ten nie napawa optymizmem, a zachodzące zmiany należy uznać za dramatycznie niebezpieczne.

**MICHAŁ MAROSZ.** Doktor nauk o Ziemi w zakresie geografii, absolwent Uniwersytetu Gdańskiego. Z IMGW-PIB związany w latach 2009-2014 i od 2019 roku do dziś. Jego zainteresowania naukowe obejmują analizę przejawów współczesnej zmiany klimatu w regionie atlantycko-europejskim oraz wykorzystanie narzędzi uczenia maszynowego w analizach klimatologicznych; podejmuje tematy dotyczące zarówno klasyfikacji pól zmiennych geofizycznych z wykorzystaniem sztucznych sieci neuronowych, jak i zastosowania uczenia maszynowego w zagadnieniach statystyczno-empirycznego downscalingu. Autor kilkudziesięciu recenzowanych publikacji. Wykonawca w międzynarodowych i krajowych projektach naukowych.



for. Iulia Solonina on Unsplash

# Podwodny świat i jego ochrona

Wojciech Kraśniewski | IMGW-PIB/Centrum Badań i Rozwoju/Zakład Oceanografii i Monitoringu Bałtyku

**Za mało zasolony dla większości organizmów morskich, a jednocześnie zbyt słony dla większości organizmów słodkowodnych. Pomimo nietypowego charakteru Morze Bałtyckie jest domem dla tysięcy organizmów morskich reprezentujących wszystkie poziomy łańcucha troficznego. Rejon ten zamieszkuje obecnie około 1900 gatunków bezkręgowców, 531 gatunków makrofitów, 230 gatunków ryb, 57 gatunków ptaków, 4 przedstawicieli ssaków, a także tysiące gatunków planktonowych – blisko 1200 gatunków zooplanktonu i ponad 1700 gatunków fitoplanktonu. To kruchy ekosystem, w którym poszczególne biotopy i biocenozy są ze sobą ściśle powiązane i wzajemnie zależne. Człowiek zaś – a właściwie skutki jego działalności: zanieczyszczenie wody i powietrza, zmiana klimatu, następstwa gospodarki morskiej – stanowi główne zagrożenie dla prawidłowego funkcjonowania Bałtyku.**

Morze Bałtyckie, ze względu na jego charakterystykę i znaczne zaludnienie wokół akwenu, podlega działaniu szeregu presji antropogenicznych. Głównym zagrożeniem dla organizmów zasiedlających Bałtyk są zarówno działania celowe, np. polowania i nadmierna eksploatacja zasobów, jak i niezamierzone, wśród których należy wymienić niszczenie siedlisk, przyłów w sieci rybackie, wprowadzanie substancji niebezpiecznych i odpadów, wycieki olejowe, budowane konstrukcje na morzu, ruch statków, choroby i obecność drapieżników lub gatunków nierodzimych. Powyższe presje niosą różny stopień ryzyka i mogą się kumulować, a ich skutki są dotkliwe i trudno odwracalne. Zanieczyszczenie morza substancjami niebezpiecznymi wpływa na proces reprodukcji organizmów, często ogranicza ich wzrost i możliwość rozprzestrzeniania się. Gatunki obce, które dostają się do Bałtyku poprzez wody balastowe lub na kadłubach statków, zaburzają zależności pomiędzy organizmami rodzimymi i stają się źródłem potencjalnej konkurencji. W wyniku przełowienia ryb osłabia się równowaga łańcucha troficznego, ponieważ system kompensuje stratę pojawieniem się w większej ilości innego gatunku, co w efekcie zaburza funkcjonowanie całego środowiska morskiego i od morza zależnego.

**Stan gatunków i siedlisk.** Mimo że obecny stan wiedzy pozwala jedynie na częściową ocenę kondycji organizmów zamieszkujących Morze Bałtyckie, to wnioski z niej płynące są niepokojące. Ponad połowa siedlisk bentosowych jest w złym stanie, a za główną przyczynę tej sytuacji należy uznać powiększającą się strefę wód przydennych o obniżonej zawartości tlenu. Poza naturalnymi uwarunkowaniami, takimi jak permanentna stratyfikacja obszarów głębi, okresowe braki tlenowe wywołuje związana z działalnością człowieka eutrofizacja. Powoduje ona wzmożony wzrost fitoplanktonu i oportunistycznych gatunków makroglonów, co szczególnie latem prowadzi do pogarszania się warunków świetlnych w kolumnie wody. To zaś ogranicza możliwość przeprowadzania fotosyntezy, a w konsekwencji zmniejsza zdolność produkcji tlenu w głębszych partiach wód. Zły stan siedlisk bentosowych może być dodatkowo pogłębiany przez działalność rybacką prowadzoną w rejonach południo-

wego Bałtyku, gdzie połowy przy użyciu wleczonych narzędzi dennych powodują zaburzanie dna morskiego.

W przypadku organizmów planktonowych coraz częściej i intensywniej występujące zakwity gatunków sinic wpływają zarówno na pozostałe gatunki glonów, jak i na możliwość rekreacji w regionach nadmorskich. Większość monitorowanych stad ryb dennych w strefie otwartego morza jest w złej kondycji, podobnie jak ponad połowa gatunków ryb pelagicznych i gatunków strefy przybrzeżnej. Zły stan gatunków otwartego morza dotyczy zasadniczo tych odławianych w celach komercyjnych. Wzrost temperatury i pogarszanie się warunków tlenowych doprowadziły do spadku zdolności rozrodczych, zmniejszenia się rozmiarów żerowisk, a także obniżenia jakości i ilości bazy pokarmowej. To z kolei skutkuje ograniczeniami w rozmieszczeniu gatunków, takich jak płastuga czy dorsz, a także pogorszeniem się kondycji tego drugiego.

Sytuacja ssaków w rejonie Morza Bałtyckiego jest zgoła odmienna. Zmiany w liczebności fok to dobitny przykład, jak bardzo człowiek oddziałuje na środowisko. Na skutek nadmiernej eksploatacji, głównie polowań, populacja foki obrączkowanej spadła w latach 40. ubiegłego wieku z poziomu 180-200 tys. do 25 tys. osobników, foki szarej – z 80 tys. do 20 tys. W latach 70. liczba przedstawicieli obu gatunków była już dramatycznie niska i wynosiła po 3 tys., co było konsekwencją zaburzeń w rozrodzie, spowodowanych zanieczyszczeniami związkami chloroorganicznymi. Wzrost świadomości opinii publicznej, a także wprowadzone na szczeblu europejskim działania ochronne doprowadziły do poprawy sytuacji. Obecnie Bałtyk zamieszkuje blisko 20 tys. osobników foki obrączkowanej i ponad 30 tys. osobników foki szarej. To przykład tego, że odpowiednie działania ochronne i naprawcze mogą skutecznie zniwelować negatywne skutki działalności człowieka. Oczywiście nie oznacza to, że bałtyckie ssaki są obecnie całkowicie bezpieczne. Wśród głównych zagrożeń dla ich egzystencji należy wymienić obecność substancji ropopochodnych, zakłócanie miejsc rozrodu, ograniczenie zasobów pokarmowych, wzmożony poziom hałasu podwodnego, a także śmiertelne infekcje wirusowe. W przypadku fok problemem jest brak pokrywy lodowej lub skracający się okres jej

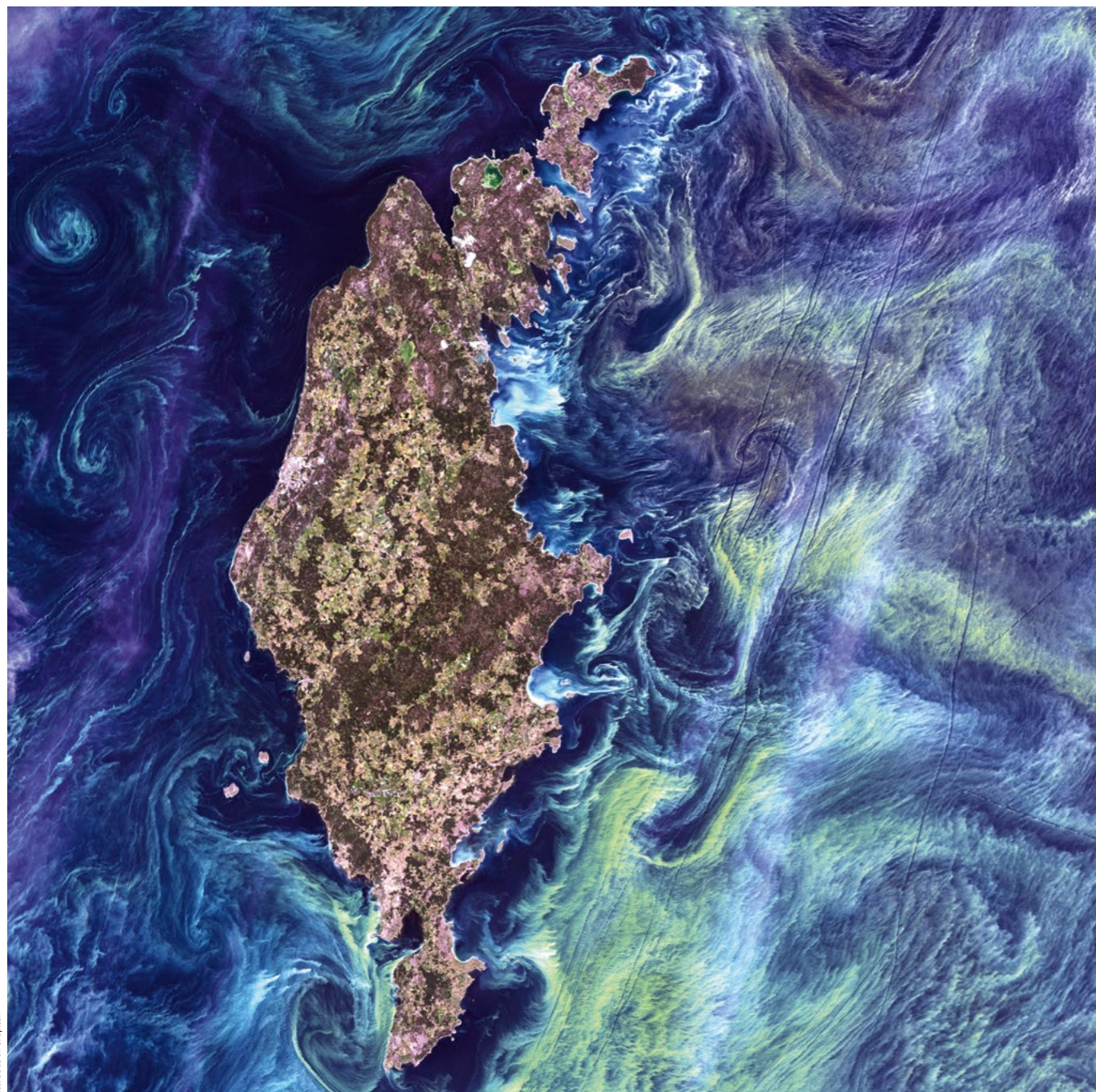


foto: USGS on Unsplash

Natura niczym Van Gogh. Ogromne skupiska zielonkawego fitoplanktonu wirują wokół Gotlandi, przypominając słynną „Gwiaździsta noc”.

występowania. Ssak ten bowiem rozmnaża się w miejscach, gdzie zamrożona tafła wody zapewnia schronienie nowo narodzonym szczeniętom. Postępująca zmiana klimatu i wzrost globalnej temperatury powietrza to główne czynniki decydujące o sukcesie rozrodczym tego gatunku.

**Chrońmy nasze morze.** Morze Bałtyckie to wielki system naczyń połączonych. Jeśli chcemy nadal korzystać z jego zasobów i walorów estetycznych, musimy zadbać o każdy element środowiska morskiego. Pomaga w tym coraz większa wiedza na temat bieżącego stanu Bałtyku, którą pozy-

skujemy z badań monitoringowych. Dzięki gruntownemu poznaniu organizmów występujących w morzu i znajomości zagrożeń jesteśmy w stanie opracować odpowiednie działania ochronne. Również społeczeństwo jest coraz bardziej świadome tego, że środki i substancje, z których korzysta w ży-



foto: Henrik Hansen on Unsplash

ciu codziennym, trafiają wraz ze ściekami do rzek, a następnie do morza.

Co więcej, w ostatnich latach rozpoczęto badania nad obecnością substancji dotychczas niemonitorowanych, np. farmaceutyków czy mikroplastików. Wprowadzono działania ochronne, ograniczające dopływ substancji biogenicznych do morza i utrudniające stosowanie toksycznych substancji. W części miejsc połowów ryb stosowane są urządzenia odstraszające ssaki, co ogranicza niebezpieczeństwo zaplątania się zwierząt w sieci. Wyznaczane są okresy ochronne dla rozrodu ryb, co umożliwia im prawidłowy rozwój. Wprowadza się limity, a nawet zakazy połowowe. Nowoczesne oczyszczalnie ścieków ograniczają dopływ biogenów do morza. Wyznaczane są również specjalne obszary ochrony, co zmierza do zapewnienia szczególnie wrażliwym i zagrożonym siedliskom i gatunkom możliwości odbudowy i prawidłowego funkcjonowania. Prowadzi się działania mające na celu ograniczenie wprowadzania i rozprzestrzeniania się gatunków nierzędnych. Kontynuowane są

badania nad zawartością substancji szkodliwych w organizmach morskich, szczególnie tych przeznaczonych do spożycia przez człowieka. nierozwiązanym problemem pozostaje przyłów gatunków w sieciach rybackich, który stanowi istotne źródło presji dla ssaków, ryb nieeksploatowanych komercyjnie i ptaków.

**Co dalej?** Przyszły stan zasobów Morza Bałtyckiego zależy w dużej mierze od podjętych dziś środków ochronnych. Jako społeczeństwo powinniśmy także dążyć do ograniczenia do minimum negatywnych skutków naszego funkcjonowania, co z pew-

nością przełoży się na poprawę stanu obszarów morskich. Jest nadzieja dla Morza Bałtyckiego, co pokazuje przykład wspólnych działań podjętych przez kraje nadbałtyckie, zmierzających do ograniczenia dopływu substancji biogenicznych, odbudowy populacji fok czy też poprawy stanu wybranych gatunków ryb. Dalsze działania ochronne na obszarach morskich (i nie tylko), wzrost świadomości społeczeństwa, a także coraz większa wiedza na temat funkcjonowania mórz i oceanów pozwalają wierzyć, że środowisko, które zostawimy po sobie kolejnym pokoleniom, będzie w lepszej kondycji niż obecnie.

**WOJCIECH KRAŚNIEWSKI.** Biolog morza. Absolwent oceanografii na Wydziale Biologii, Geografii i Oceanologii Uniwersytetu Gdańskiego. Od 2008 roku pracownik Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku IMGW-PIB. Główny specjalista w zakresie monitoringu i ocen parametrów biologicznych, w szczególności makrozoobentosu, oraz wdrażania ramowej dyrektywy w sprawie strategii morskiej, w tym dokonywania oceny stanu, opracowywania celów środowiskowych i programów monitoringu dla wód morskich. Ma wieloletnie doświadczenie we współpracy międzynarodowej w zakresie parametrów biologicznych i eutrofizacji. Obecnie członek grup roboczych HELCOM oraz KE w zakresie monitoringu i oceny siedlisk bentosowych, eutrofizacji i gatunków obcych.





„Profesor Siedlecki” był największym statkiem badawczym MIR i w swoim czasie jednym z najnowocześniejszych na świecie. W latach 1972-1992 wykorzystywano go do badań oceanicznych, szczególnie w rejonie Antarktyki. Fot. archiwum MIR-PIB.

## Pływające laboratoria

Tycjan Wodzinowski | Morski Instytut Rybacki – Państwowy Instytut Badawczy

**15 kwietnia 1992 roku siedmiu członków załogi po raz ostatni zeszło z pokładu r/v „Profesor Siedlecki”, jednego z najbardziej znanych statków badawczych w dziejach Morskiego Instytutu Rybackiego. Okazała, 89-metrowa jednostka „dokonała żywota” w jednej ze stoczní rozbiórkowych na plaży w zatoce Cambay u wybrzeży Indii. To był koniec pewnej epoki. Dokładnie tydzień później, 22 kwietnia, w Gdyni zwodowano następcę „Profesora Siedleckiego” – r/v „Baltica” – owoc współpracy Morskiego Instytutu Rybackiego i Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Komenda „podnieść banderę” padła z ust kapitana Ryszarda Zapolskiego 31 maja 1993 roku. Tak rozpoczął się kolejny fascynujący rejs ku wiedzy.**



Wodowanie „Baltiki” 22 kwietnia 1992 roku. Fot. archiwum MIR-PIB.

„Profesor Siedlecki” nie był jedynym statkiem pływającym pod biało-czerwoną banderą we flocie Morskiego Instytutu Rybackiego – Państwowego Instytutu Badawczego. Pierwszą taką jednostką był kuter „Ewa”, zakupiony przez Morskie Laboratorium Rybackie<sup>1</sup> w 1929 roku. Przed II wojną światową w skład floty MIR wchodziły również „Tryton”, „Gazela” i „Zorza”. Kolejnymi jednostkami badawczymi zakupionymi przez MIR – już po wojnie – były „Michał Siedlecki”, „Michał Siedlecki II”, do dzisiaj pływający jako jednostka prywatna „Doktor Lubecki” i niewielki, zaledwie 36,2-metrowy „Birkut”, na którym docierano nawet do wybrzeży Afryki Zachodniej.

Morski Instytut Rybacki dysponował kilkoma dużymi jednostkami, prawdziwymi oceanicznymi laboratoriami badawczymi. Były to „Profesor Bogucki”, „Wieczno” i wspomniany na początku „Profesor Siedlecki”. Dwa ostatnie brały udział w wielu wyprawach badawczych, w tym z załogami międzynarodowymi m.in. z amerykańskiego NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), a były to przecież lata 70. XX wieku. Po transformacji systemowej lat 90., w efekcie kurczenia się dalekomorskiej floty rybackiej i niedostatków gospodarczych, utrzymywanie tak dużych statków było bezzasadne. Jednak dzieje „Profesora Siedleckiego” do dziś są wspomniane z rozrzewnieniem i przytaczane w niezliczonych anegdotach, a przygody załogi zostały barwnie opisane w szantach Jerzego Porębskiego.

**Budowa r/v „Baltica” – wspólny cel.** Ze względu na trudną sytuację finansową instytutów naukowych w latach 90. MIR zważył szeregi z Oddziałem Morskim Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej w Gdyni, który również prowadzi badania morskie i w owym czasie stanął przed perspektywą braku jednostki pływającej. Ten naukowy sojusz zaowocował podpisaniem 8 stycznia 1991 roku umowy ze stoczní Nauta na budowę nowego statku. Rok później, 22

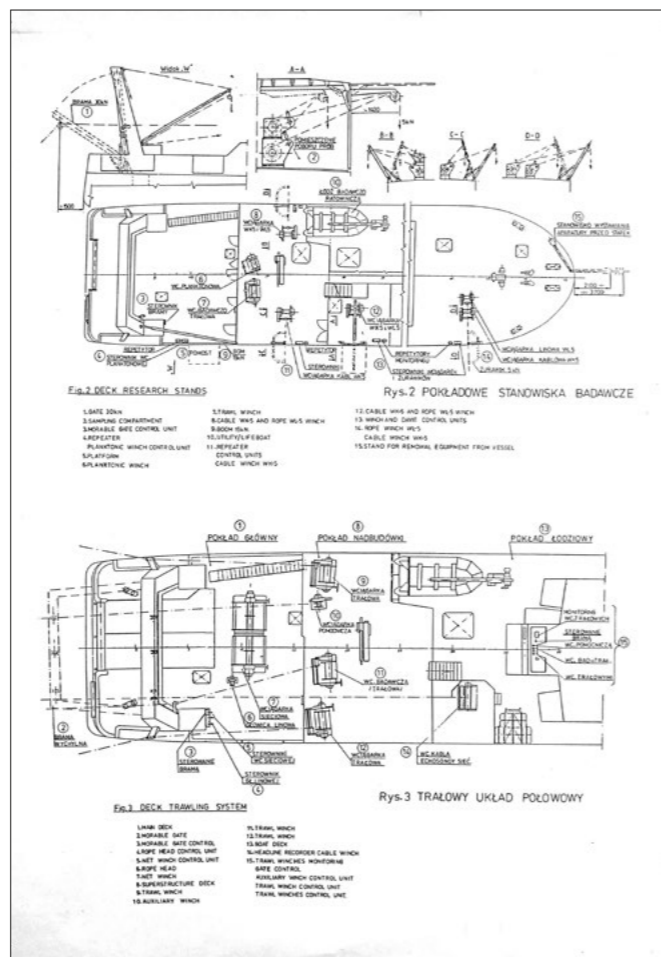
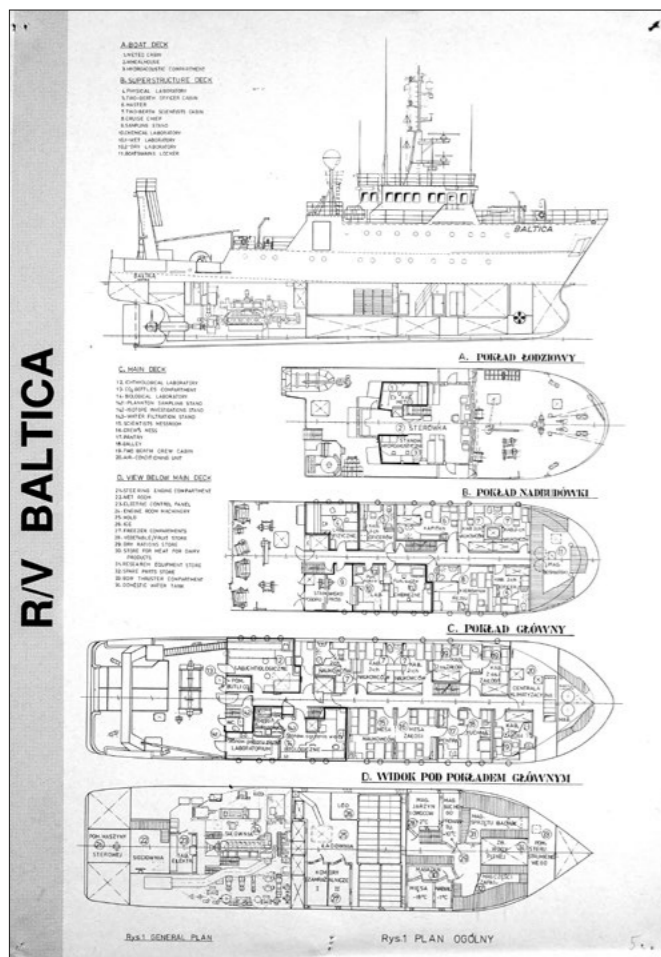
kwietnia, Małgorzata Kozłowska, ówczesna wiceminister ds. finansowych Komitetu Badań Naukowych, jako matka chrzestna statku wypowiedziała znaną formułę: „Płyn po morzach i oceanach, sław polskich marynarzy, rybaków, stoczniovców i naukowców – nadaję ci imię Baltica”. W uroczystości uczestniczyli dyrektorzy Zbigniew Dziadziuszko (Oddział IMGW w Gdyni) i Zbigniew Karnicki (MIR, jako armator statku). Statek oficjalnie rozpoczął służbę naukowo-badawczą 31 maja 1993 roku.

**Na pokładzie r/v „Baltica”.** Ponieważ „Baltica” operuje tylko na Morzu Bałtyckim, nie jest tak okazałym statkiem jak jej znakomity poprzednik. Długość całkowita jednostki to 41 m, szerokość wynosi 9 m, wysokość do pokładu głównego – 4,5 m; zanurzenie dochodzi do 4,45 m. Silniki rodzimej produkcji, z zakładów H. Cegielski, pozwalają osiągnąć maksymalną prędkość 11,5 węzła. Zapasy paliwa, prowiantu i wody pitnej umożliwiają maksymalnie 30-dniowy rejs. Dzięki doścy dużemu zanurzeniu „Baltica” potrafi przetrzymać naprawdę poważne sztormy. Bardzo rzadko zdarzają się sytuacje, by musiała się kryć w porcie przed złą pogodą.

Skład załogi jest uzależniony od charakteru wyprawy. W rejsach z przewidzianymi połowami badawczymi ryb uczestniczy trzynastu członków załogi: kapitan, dwóch oficerów wachtowych, dwóch mechaników, elektryk, bosman i czterech marynarzy, a do tego bardzo ważni na statku kuk i steward, na których barkach spoczywa odpowiedzialność za dobre samopoczucie załogi. W takie rejsy wypływa dziewięciu naukowców. Jeśli nie planuje się połowów rybackich, załoga jest redukowana o dwóch marynarzy, na których miejsce może popłynąć dwóch dodatkowych naukowców. Są to zazwyczaj rejsy nazywane w żargonie naukowym „oceanograficznymi”.

Podczas ekspedycji badawczych poławia się plankton, zbiera próbki bakterii w wodzie, osad z dna oraz zamieszkujące tam organizmy. Wykonuje się również pomiary akustyczne typu ADCP i klasyczne

<sup>1</sup> Morskie Laboratorium Rybackie z siedzibą w Helu utworzono w 1921 roku. Była to pierwsza na ziemiach polskich morską placówką badawczą. Jej likwidacja, planowana na początku lat 30., wywołała głębokie poruszenie i stanowczy sprzeciw środowiska naukowego. Dzięki staraniom m.in. prezesa Morskiego Instytutu Rybackiego prof. Michała Siedleckiego placówką nie została definitywnie zamknięta, lecz przekształcona w Stację Morską w Helu.



Plany r/v „Baltica”. Fot. archiwum MIR-PIB.

pomiary przezroczystości wody krążkiem Secchiego. Infrastruktura statku umożliwia bieżącą analizę zebranych prób rybackich, wstępne sortowanie planktonu, a także badania chemiczne i biologiczne wody. Standardowo podczas rejsów wykonuje się pomiary temperatury i zasolenia wody oraz zawartości tlenu rozpuszczonego w wodzie. Próbkę wody do analiz chemicznych pobierane są dwunastoma butlami batymetrycznymi w konfiguracji rozety. Na ten zestaw, na

*POMIMO OGROMNEGO SENTYMENTU DO R/V „BALTICA” ZARÓWNO ZAŁOGA, JAK I ZESPOŁY NAUKOWCÓW MAJĄ ŚWIADOMOŚĆ, ŻE STATEK NAJLEPSZE LATA MA JUŻ ZA SOBĄ. DZIĘKI REGULARNYM REMONTOM, SERWISOWANIU I MODERNIZACJI NADAL SPEŁNIA SVOJE FUNKCJE, ALE KIEDYŚ Z PEWNOŚCIĄ ZAKOŃCZY SŁUŻBĘ DLA MIR. CZY PODOBNIĘ JAK „PROFESOR SIEDLECKI” TRAFI DO ROZBIÓRKI, A MOŻE NADAL BĘDZIE PŁYWAŁ PO BAŁTYKU – RAZEM Z KUTREM „EWA”? CZAS POKAŻE.*

statku zwany potocznie właśnie „rozetą”, przeznaczone jest osobne pomieszczenie, z podnoszoną furtą wychodzącą nad wodę, własnym żurawikiem i windą. Nie jest to rozwiązanie popularne na statkach naukowych, ale bardzo wygodne i ułatwiające pracę, szczególnie jeśli wziąć pod uwagę, że „Baltica” operuje na morzu cały rok, również zimą – próbki wody mogą być podejmowane na pokład takim urządzeniem nawet kilkanaście razy na dobę.

Na statku mieści się wiele specjalistycznych pomieszczeń: laboratoria chemiczne i ichtiologiczne, laboratorium ciemne do inkubacji fitoplanktonu, laboratorium fizyczne, w którym można monitorować pomiary praktycznie wszystkich urządzeń wymagających pracy z komputerem (CTD, ADCP, podgląd echosondy, podgląd danych z czujników siatek planktonowych, takich jak bongo, multinet czy MIK). Wszystkie te pomieszczenia mogą być dostosowywane do bieżących potrzeb rejsu. Zdarza się, że laboratorium ichtiologiczne suche zamienia się w pokładową sortownię planktonu, a laboratorium ciemne w podręczny magazyn pustych jeszcze pojemników na próbki. Dodatkowo na mostku znajduje się miejsce dla akustyka monitorującego zapisy ryb pod statkiem i kabina meteorologiczna z automatyczną stacją pomiarową, do której podpięte są wszystkie urządzenia mierzące parametry pogodowe. Ze względu na stosunkowo niewielkie gabaryty statku, jak na jednostkę

naukową, kabiny mieszkalne są dosyć przestronne. W większości z nich mieszka dwóch załogantów lub naukowców. To warunki pozwalające na komfortowy odpoczynek, chyba że któryś ze współlokatorów dramatycznie głośno chrapie.

**Jeden statek, wiele historii.** „Baltica” pomimo swojego wieku wciąż budzi podziw – właśnie ze względu na kompaktowość. Szerszej publiczności została zaprezentowana na zlocie statków badawczych we wrześniu 2002 roku w Kopenhadze, przy okazji obchodów 100-lecia Międzynarodowej Rady Badań Morza ICES (International Council for the Exploration of the Sea). Do dzisiaj w rozmowach koledzy z zagranicy wspominają ze zdumieniem, jak na tak małej powierzchni udało się zmieścić tyle funkcjonalnych pomieszczeń i urządzeń, włącznie ze wspomnianą już „rozetownią” i pasem transmisyjnym, przesyłającym próbki ryb z pokładu wprost na stół laboratoryjny. Jako kolejne atuty wymieniane są fachowość i rzetelność załogi, zarówno pokładowej, jak i naukowej – ale to już opinie kolegów, z którymi odbywamy wspólne rejsy. Na pokładzie statku gościliśmy wielokrotnie naukowców z Danii, Niemiec, Łotwy, Estonii i Finlandii.

„Baltica” odbywa kilkanaście wypraw w ciągu roku, trwających od kilku do nawet 30 dni. Najbardziej eksploatującymi rejsami są badania w ramach Narodowego Programu Zbioru Danych Rybackich, będącego zobowiązaniem Polski jako państwa członkowskiego Unii Europejskiej. Statek jest również wykorzystywany do badań bliźniaczych innych krajów. Pozostałe projekty, w których bierze udział „Baltica”, wymagają mniejszego obłożenia dniami rejsowymi. Jednak liczba zadań wykonywanych w trakcie wypraw systematycznie wzrasta, co świadczy o potencjale drzemącym w tego typu jednostkach.

Statek służy również popularyzacji nauki. „Baltica” była kilkakrotnie udostępniana zwiedzającym w ramach pikników naukowych, na jej pokładzie gościli też filmowcy z National Geographic, kręcący film o MS „Wilhelm Gustloff” i jego zatopieniu w czasie II wojny światowej. Statek wzbudza sympatię i pozostawia dobre wspomnienia, szczególnie po nietypowej akcji ratunkowej, która obiegła światowe serwisy w 2010 roku. W czasie jednego z rutynowych zimo-



„Baltica” na cumie. Fot. archiwum MIR-PIB.



R/v „Baltica” w zatoce Sande w Norwegii. Fot. archiwum MIR-PIB.

wych rejsów IMGW na jednej z kier pływających po Zatoce Gdańskiej zauważono psa. Załogę udało się wydostać zwierzę z pułapki. Nadano mu imię Baltic, wkrótce zresztą został pemonoprawnym członkiem załogi. Wraz z odejściem na emeryturę swojego wytwórcy Adama Buczyńskiego również Baltic zakończył służbę i zamieszkał ze swoim przyjacielem.

**TYCJAN WODZINOWSKI.** Absolwent oceanografii na Uniwersytecie Gdańskim. Od 2006 roku pracuje w Zakładzie Oceanografii Rybackiej i Ekologii Morza MIR-PIB. Od początku br. pełni funkcję przewodniczącego grupy roboczej ds. hydrografii oceanicznej ICES, której zadaniem jest monitoring hydrologiczny mórz i oceanów w rejonie badań Międzynarodowej Rady Badań Morza (ICES).

# Rejs!

O pomiarach, pracy na morzu i związanych z tym zagrożeniach rozmawiamy z Wojciechem Kraśniewskim z Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku IMGW-PIB.

**Rafał Stepnowski: Rejsy na pokładzie r/v „Baltica” umożliwiają prowadzenie pomiarów w strefie morza otwartego. Jak często są organizowane?**

Wojciech Kraśniewski: Rejsy monitoringowe są wykonywane rutynowo sześć razy w roku. Obejmują wszystkie sezony, aby możliwe było uchwycenie zmienności czasowej wszystkich obserwowanych parametrów. Pierwszy raz wypływamy na przełomie stycznia i lutego, następnie na początku kwietnia, czerwca, sierpnia, września i listopada.

**Jak długo trwają rejsy?**

Zwykle 5-6 dni, jednak pobyt na morzu jest uzależniony od pogody. Przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych prędkość statku może spaść do połowy standardowej prędkości przelotowej, co oczywiście odbija się na tempie zaplanowanych pomiarów. Na długość rejsu wpływają także inne sytuacje, jak okresowe wyłączanie części obszarów z żeglugi. Natomiast w czerwcu, ze względu na szerszy zakres wykonywanych badań, rejs z założenia trwa o 1-2 dni dłużej.

**Czy trasa, którą pokonujecie, jest zawsze taka sama?**

Stanowiska pomiarowe, które odwiedzamy w trakcie rejsu, są stałe. Ich liczba i lokalizacja zostały ustalone tak, aby umożliwiły uchwycenie zmian zachodzących w środowisku morskim. Ponieważ nasza wiedza o stanie obszarów morskich stale rośnie i pojawiają się kolejne zagrożenia, program monitoringowy jest co sześć lat uaktualniany – pojawiają się nowe stanowiska pomiarowe i parametry wymagające zmierzenia. Jeśli zaś chodzi o trasę statku, to zależy ona głównie od warunków wietrznych. W przypadku silnych wiatrów południowych rejs rozpo-



czynamy wzdłuż obszarów przybrzeżnych, a na otwarte morze kierujemy się dopiero wtedy, gdy warunki się poprawiają.

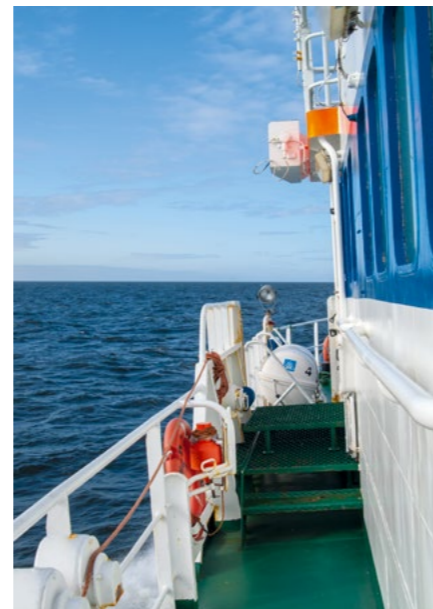
**Jakie zadania realizuje na pokładzie r/v „Baltica” załoga z IMGW?**

Pracownicy Zakładu Oceanografii i Monitoringu Bałtyku biorą udział w rejsie jako tzw. ekipa naukowa, która wykonuje zadania związane z monitoringiem morza. W zespole pomiarowym jest dwóch chemików, jeden hydrolog i jeden biolog. Każdy członek ekipy naukowej powinien znać zakres obowiązków pozostałych osób z zespołu. Realizację prac nadzoruje kierownik rejsu z IMGW, który ustala terminy i skład ekipy pomiarowej, a także na bieżąco koryguje trasę rejsu i pilnuje prawidłowego wykonania pomiarów. Obsługą statku zajmuje się załoga z Morskiego Instytutu Rybackiego, w której skład wchodzi kapitan, pierwszy i drugi oficer, trzech marynarzy, dwóch mechaników, kucharz, steward oraz elektryk. Ekipa naukowa z IMGW współpracuje głównie

z marynarzami, którzy są odpowiedzialni za obsługę urządzeń mechanicznych na statku, takich jak wyciągarki, dźwigi czy kotwica.

**Jak wyglądają poszczególne pomiary i obserwacje?**

W trakcie rejsu standardowo wykonywane są pomiary parametrów fizykochemicznych i biologicznych wody morskiej. Temperaturę, zasolenie i rozkład prądów w kolumnie wody mierzy się przy użyciu specjalnej aparatury badawczej – prądomierzy i sond CTD. Ich obsługą zajmuje się hydrolog, który odpowiada również za pomiary meteorologiczne na statku, wykonywane co 3 godziny, oraz pobór próbek wody do analiz. Wodę morską pobiera się z określonych poziomów za pomocą rozety. To zestaw butli z materiału PVC, umieszczonych na ramie, którą opuszcza się do wody przy użyciu wyciągarki. Aparatura wyposażona jest w czujniki do pomiaru temperatury, zasolenia i głębokości. Dane te są rejestrowane i wyświetlane w trybie rzeczywistym na komputerze hy-



drologa, który ze stanowiska na statku w odpowiednim momencie zamyka butle za pomocą specjalnego przycisku. W trakcie rejsu woda do pomiarów fizykochemicznych jest pobierana z 4-16 poziomów, w zależności od głębokości stacji. Część z parametrów, ze względu na swoją specyfikację, musi być zbadana na miejscu, na statku. Z tego względu w rejsie bierze udział dwóch chemików, którzy zajmują się bieżącym konserwowaniem próbek i oznaczaniem takich parametrów jak stężenie substancji biogenicznych, pH czy zawartość tlenu w kolumnie wody. Pomiarów parametrów biologicznych są wykonywane z pokładu rufowego. Biolog pobiera próbki za pomocą węży i siatek planktonowych i mierzy przezroczystość wody morskiej. Raz do roku, w czerwcu, przepro-

wadza się dodatkowe pomiary zawartości pierwiastków promieniotwórczych w kolumnie wody, metali ciężkich i substancji niebezpiecznych w osadach, a także badania makrozoobentosu. Wiąże się to z koniecznością pobrania dużych objętości wody morskiej i wielokrotnego poboru osadów za pomocą specjalnej aparatury.

#### **Czy podczas pomiarów zdarzają się sytuacje niebezpieczne? Z jakimi problemami musicie się mierzyć?**

Główne zagrożenia to obsługa ciężkiego sprzętu oraz stosowanie drażniących odczynników chemicznych. Dlatego ekipa rejsowa jest wyposażona w niezbędny sprzęt ochronny: kaski, kamizelki wypornościowe, rękawice, wzmacniane obuwie, minimali-

zujący ryzyko wystąpienia poważnych urazów. Przy silnym falowaniu konieczne jest również właściwe zabezpieczenie sprzętu pomiarowego i pobranych próbek, aby zapobiec ich uszkodzeniu czy nawet zniszczeniu. Czasem fale i wiatr nie pozwalają na wykonanie zaplanowanych na dany dzień zadań. Zdarzają się również różnego rodzaju awarie, które w ramach możliwości są niezwłocznie usuwane przez ekipę terenową. Poza tym w okresie zimowym może dojść do zlodzenia elementów mechanicznych, co utrudnia pracę. Ważne są także odpowiednia konserwacja, bieżące wymiany, smarowanie czy dokręcanie ruchomych mechanizmów na statku.

#### **Do czego wykorzystuje się w IMGW pozyskane dane pomiarowe?**

Część danych służy do walidacji prognoz parametrów oceanograficznych. Przede wszystkim jednak stanowią one podstawę wykonywanej corocznie oceny stanu środowiska morskiego. Jej celem jest określenie zmian, jakie zachodzą w środowisku morskim w zakresie parametrów fizykochemicznych, substancji niebezpiecznych i parametrów biologicznych. Część badań, takich jak pomiary bojowych środków trujących, ma charakter pilotowy. Dane mogą być również wykorzystywane do testowania nowych wskaźników lub metod oceny proponowanych przez międzynarodowe grupy ekspertów.



#### **Piątek, 19 marca 2021**

Wypływamy z Gdyni przy trudnych warunkach pogodowych. Z tego powodu rozpoczynamy pomiary od osłoniętych wód Zatoki Gdańskiej. Mimo wszystko silny wiatr w znacznym stopniu utrudnia pracę, dlatego w poborach uczestniczy dodatkowy marynarz. Pierwszy dzień bardzo intensywny i eksploatający dla ekipy pomiarowej. Duże fale nie wpływają dobrze na samopoczucie, staramy się utrzymać koncentrację, aby prawidłowo wykonać swoje zadania. Pomiary w trakcie rejsu prowadzone są w godzinach 6-24, posiłki serwowane są co 4 godziny, pomiędzy 6:30 a 19:30.

W trakcie pierwszego dnia rejsu pobraliśmy próbki na pięciu stanowiskach pomiarowych z czego większość stanowiły stacje o znacznej głębokości, a także płytsze stacje zlokalizowane w rejonie ujścia Wisły oraz Mierzei Wiślanej. Poza standardowymi parametrami mierzonymi w trakcie każdego rejsu pobraliśmy również próbki do analizy zawartości mikroplastików w kolumnie wody.

#### **Sobota, 20 marca 2021**

Pomimo że jesteśmy w przededniu wiosny, pogoda jest iście zimowa, a temperatura powietrza ujemna, co powoduje, że część pokładu statku jest śliska od lodu. Pierwszy dzień pomiarów jest bardzo intensywny, a niesprzyjająca pogoda utrzymuje się do sobotniego południa. Decydujemy się kontynuować pomiary w strefie płytkowodnej. Kierujemy się na zachód wzdłuż brzegu. Pomiary prowadzimy w kolejnych punktach obserwacyjnych - od Półwyspu Helskiego, przez Żarnowiec, Rozewie, Łebę, po Ustkę.

#### **Niedziela, 21 marca 2021**

Pomiary rozpoczynamy jak zwykle o godzinie 6 rano. Jesteśmy przy stacji M3 zlokalizowanej nieco dalej od brzegu - brak zasięgu sieci telefonicznej. Kierujemy się w stronę Świnoujścia, po drodze odwiedzamy Kołobrzeg, Międzyzdroje oraz ujście Świny. Pogoda nie jest już tak dokuczliwa, pojawia się słońce, chociaż temperatura powietrza jest w dalszym ciągu niska. Były pewne problemy z funkcjonowaniem sond pomiarowych, ale udało się je rozwiązać i płyniemy dalej. Aura powoduje, że elektroniczne urządzenia znajdujące się na zewnątrz podają „podejrzane” wskazania. Konieczne było ich rozłączenie i przegląd przez elektryka. Pod koniec dnia pogoda robi się przyjemniejsza, zachód słońca nad Świnoujściem umila nam wieczór. Ruszamy w drogę powrotną - opuszczamy strefę przybrzeżną i kierujemy się na otwarte morze.

#### **Poniedziałek, 22 marca 2021**

Dzień zaczynamy od stacji P39Z znajdującej się na granicy polskich wód terytorialnych w okolicy Bornholmu. Od teraz wszystkie monitorowane stacje będą charakteryzować się dużą głębokością. Temperatura wody morskiej jest wyrównana praktycznie w całej kolumnie wody, co świadczy o tym, że zima się jeszcze nie skończyła. Falowanie już nie jest tak znaczne i prognozy wskazują, że do końca rejsu nie powinno już być utrudnień w realizacji jego programu. Płyniemy przez rejon Głębi Bornholmskiej, Ławicy i Rynny Słupskiej.

#### **Wtorek, 23 marca 2021**

Wykonujemy pomiary na stacji P140, zlokalizowanej w rejonie południowo-wschodniego Basenu Gotlandzkiego, i kierujemy się ku najgłębszej stacji monitoringowej P1, znajdującej się w rejonie Głębi Gdańskiej. Stacja ta ma głębokość 106 metrów. Przy dnie często występuje tu siarkowodor, który uniemożliwia funkcjonowanie żywych organizmów - to tzw. strefa azoiczna. W niektórych latach pojawiały się w tym rejonie pojedyncze osobniki gatunków szczególnie odpornych na występowanie tak niesprzyjających warunków, ale są to sytuacje wyjątkowe. Płynąc do stacji P1, mijamy platformę Petrobaltic, na której wydobywana jest ropa naftowa. Niestety, wychodzi mgła i budowla jest tylko częściowo widoczna. Dzień kończymy późnym wieczorem.



#### **Środa, 24 marca 2021**

Siódma rano - meldujemy się w porcie w Gdyni. Cały sprzęt pomiarowy oraz zebrane próbki są już spakowane, a laboratoria i stanowiska pomiarowe sprzątnięte i pozostawione w dobrym stanie. Za dwa dni „Baltica” wyrusza w kolejny rejs, tym razem z ekipą pomiarową Morskiego Instytutu Rybackiego. Załoga nie ma zbyt wiele czasu na odpoczynek i spotkanie z rodzinami. Już następnego dnia będą na pokładzie, aby sprawdzić i założyć sieci rybackich oraz zaopatrzyć statek na kolejną wyprawę.

# CHCESZ WIEDZIEĆ CO CZEKA CIĘ W POGODZIE?

ZAINSTALUJ APLIKACJĘ MOBILNĄ  
POGODA DLA POLSKI OD IMGW-PIB



**METEO**  
**IMGW-PIB**  
meteo.imgw.pl

